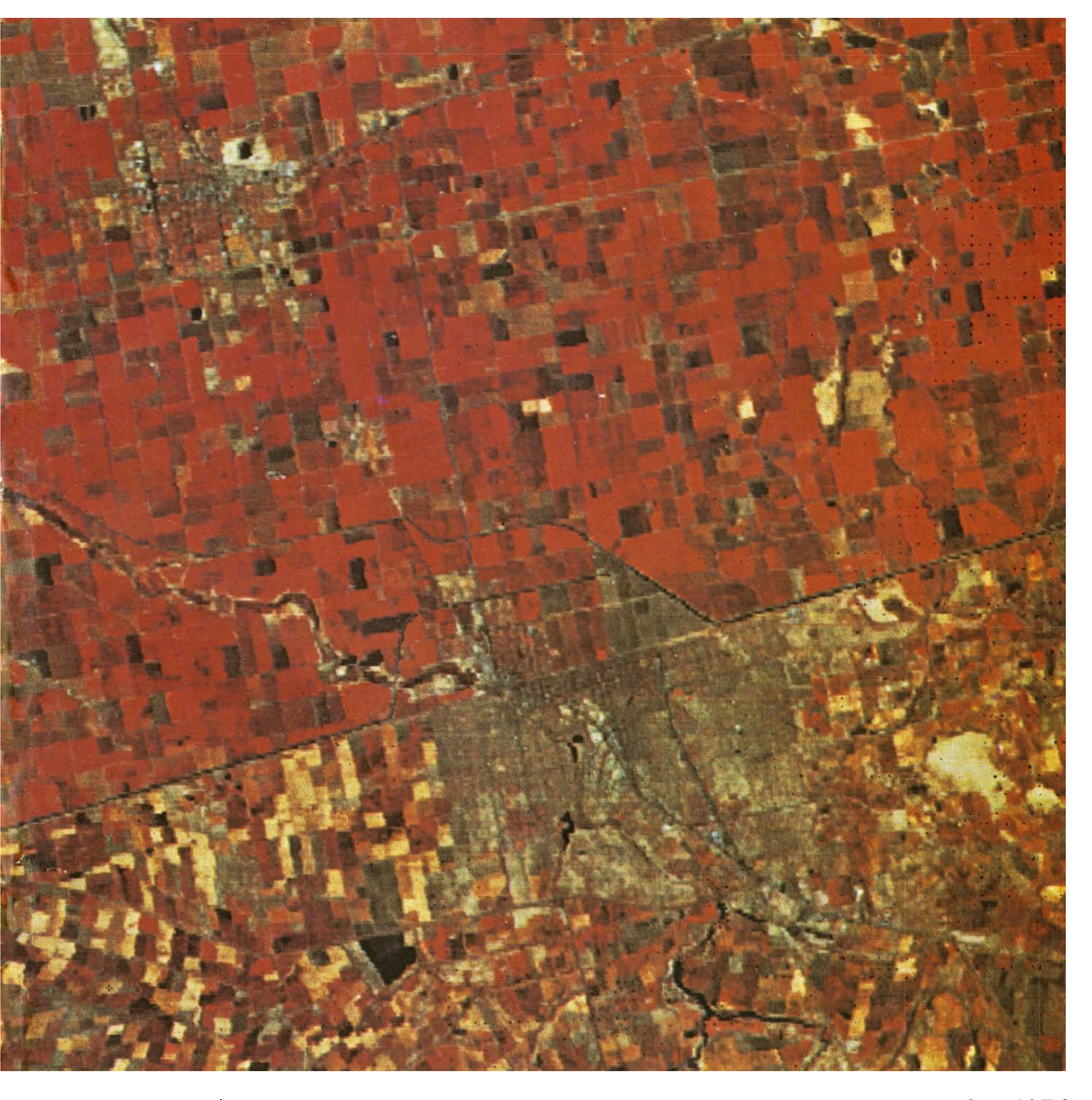
INVESTIGACION Y CIENCIA

Edición en español de SCIENTIFIC AMERICAN



ALIMENTACIÓN Y AGRICULTURA

Noviembre 1976

200 PTAS.

Los espacios en gris
corresponden a publicidad
en la edición impresa

Número 2
Noviembre 1976

INVESTIGACION Y CIENCIA

Edición en español de SCIENTIFIC AMERICAN

EDITA Prensa Científica, S.A.
Calabria, 235-239
Barcelona-15

Colaboradores de este número:

Asesoramiento y traducción:

Pilar Giralt: *Alimentación y agricultura;* Pilar Martínez: *Las dimensiones del hambre humana;* Mariano Alemany: *Las necesidades de la nutrición humana;* Francisco Gil: *Los ciclos de la nutrición vegetal y animal;* Xavier Llimona: *Las plantas y los animales que alimentan al hombre;* Xavier Llimona: *Sistemas de agricultura;* María Birulés: *La agricultura de Estados Unidos;* Juan Olivar: *La agricultura de México;* Juan Olivar: *La agricultura de la India;* Isabel Fleck: *Los recursos disponibles para la agricultura;* María Alba Fransí y Henar Alegre: *Cómo aumentar la producción agrícola;* Gerardo Espinosa: *La evolución de la agricultura en los países en vías de desarrollo;* Jesús Guinea: *Taller y laboratorio;* Enrique Trillas y Teresa Riera: *Juegos matemáticos.*

Ciencia y sociedad:
Emiliano Aguirre

Libros:
Constantino Lluch y Luis Alonso



LA PORTADA

La fotografía de la portada recoge gráficamente el tema de este número extraordinario de *Investigación y Ciencia:* "Alimentación y agricultura". Es un detalle de la imagen, tomada por satélite y realizada por computadora, de una zona del Imperial Valley, que se encuentra al sur de California, Estados Unidos. La línea oscura que cruza la fotografía en diagonal es el canal de riego que corre por la frontera entre Estados Unidos y México. La imagen fue sacada por investigadores pertenecientes al Federal System Division of the International Business Machines Corporation, contratados por la National Aeronautics and Space Administration (NASA) para profundizar en el desarrollo de una nueva técnica de proceso digital para la generación de imágenes compuestas, correctas y de coloración convencional, a partir de los datos obtenidos por el sistema de barrido multiespectral. En éstas la vegetación alimenticia aparece en rojo. Los sistemas de parcelación de las propiedades y otras prácticas agrícolas quedan resaltados. Según datos obtenidos por el LANDSAT 2.

Suscripciones:

Prensa Científica, S.A.
Departamento de suscripciones
Calabria, 235-239
Barcelona-15 (España)

Distribución para España:

Distribuciones de Enlace, S.A.
Ausias March, 49
Barcelona-10 (España)

Distribución para los restantes países:

Editorial Labor, S.A.
Calabria, 235-239
Barcelona-15 (España)

Condiciones de suscripción:

España:
Un año (12 números): 1.540 pesetas
Seis meses (6 números): 800 pesetas

Extranjero:
Un año (12 números); 30 U.S. $

Ejemplar atrasado ordinario:
160 pesetas

Ejemplar atrasado extraordinario:
225 pesetas.

PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

La fotografía de la portada es cortesía de IBM Federal Systems Division

Página	Fuente
6	IBM Federal Systems Division
8-14	Total Communications
15	Rockefeller Found.
19	Library of Congress
20-26	Total Communications
27	National Oceanic and Atmospheric Administration
30	Fritz Goro
32-34	Total Communications
35	Lou Bory Associates
36-37	Total Communications
38	Lou Bory Associates
39-44	Total Communications
50	National Aeronautics and Space Adminit.
51-53	Total Communications
54-57	Lorelle M. Raboni
58-63	Total Communications
62	Lorelle M. Raboni
64	Metropolitan Museum of Art
66-73	Alan D. Iselin
76	Photo Researchers, Inc.
78-81	Total Communications
82	Lorelle M. Raboni
86	IBM Federal Systems Division
88	Donnelley Cartographic Services
89-90	Total Communications
91	Lorelle M. Raboni
92-94	Total Communications
96	EROS Data Center
98	Donnelley Cart. Serv.
99-108	Total Communications
110	EROS Data Center
112-114	Donnelley Cartographic Services
115-119	Total Communications
122	Winston J. Brill
124-128	Total Communications
134	Rockefeller Found.
136-143	Andrew Christie
146	National Aeronautics and Space Administr.
148-152	Total Communications
156	Archivo Labor
158	GRIST
159	IRRI
160-161	SATAKE
162-165	IATA
169	Ronald L. Graham
170-172	Andrew Christie

Dep. legal: B. 38.999-76
Fotocomposición: Fort, S.A.
Rosellón, 33 - Barcelona-15
Cayfosa. Santa Perpetua de Moguda. Barcelona.

Printed in Spain - Impreso en España

Los autores

STERLING WORTMAN ("Alimentación y agricultura") es uno de los vicepresidentes de la Fundación Rockefeller. Especializado en la mejora genética de las plantas. Se graduó en las universidades de Oklahoma y de Minnesota. Desde su ingreso en el cuadro de la Fundación, ha desarrollado sus trabajos en plantaciones trigueras de México, de ananás en Hawai y en los arrozales de Filipinas. Desde 1966, en que volvió a la sede central de la Fundación en Nueva York, ocupa la dirección de la división de ciencias agronómicas. Asciende al puesto actual cuatro años más tarde. Hoy preside el International Agricultural Development Service y es miembro de numerosas instituciones y comités nacionales, gubernamentales y privados. Sus grandes servicios prestados a la agronomía de todo el mundo le hicieron justo acreedor del reconocimiento de la American Society of Agronomy.

JEAN MAYER ("Las dimensiones del hambre humana") preside la Tufts University, y procede de la cátedra de Nutrición de la Universidad de Harvard. Francés por nacimiento y educación, este parisiense sirvió en el Ejército y en las milicias de la Francia Libre durante la Segunda Guerra Mundial. Prosiguió sus estudios en la Universidad de Yale doctorándose en 1948 en la especialidad de Química fisiológica; dos años más tarde obtuvo su segundo doctorado (en Fisiología) por la Universidad de la Sorbona. Marchó pronto a Harvard. Es un especialista en el problema de la obesidad humana y en los problemas de regulación de la ingesta en el cuerpo. Ha publicado unos 650 artículos y varios libros (el último de los cuales, *A Diet for Living*, apareció el año pasado). Ha sido asiduo asesor de la FAO y de la OMS. En la actualidad preside el comité de las Naciones Unidas encargado del estudio de la nutrición infantil. Se ha preocupado también de los problemas alimentarios de los marginados en Estados Unidos y dirigió asimismo la primera conferencia sobre alimentación celebrada en la Casa Blanca, como consejero del Presidente; se encargó del Comité Nacional de problemas nutritivos en la ancianidad. Asesoró al presidente de los Estados Unidos en todos los campos relacionados con el consumo.

NEVIN S. SCRIMSHAW Y VERNON R. YOUNG ("Las necesidades de la nutrición humana") trabajan en el Departamento de nutrición y ciencia de los alimentos del Instituto de Tecnología de Massachusetts. Scrimshaw, docente de dicho centro, ostenta la jefatura del Departamento desde 1961; antes se había pasado 12 años como director del Instituto de nutrición de América Central y Panamá (INCAP). Se graduó en la Wesleyan University, de Ohio, especializándose posteriormente en la de Harvard. Licenciado en Biología (1939), doctor en Fisiología (1941) y M.A. en Salud pública (1959); doctorándose por último en Medicina y Odontología en la Universidad de Rochester. Viaja con frecuencia al continente asiático para el asesoramiento de los problemas de nutrición y sanidad. Pertenece asimismo al consejo de varios organismos nacionales e internacionales relacionados con su especialidad. Entre otros cargos, preside en la actualidad el comité asesor de la OMS sobre investigación médica. Vernon R. Young, que profesa en la actualidad bioquímica de los alimentos en el Instituto de Tecnología de Massachusetts, nació en el País de Gales y se formó en la Universidad de Reading. Se doctoró en Nutrición por la Universidad de Davis, California. Desde su incorporación al MIT, ha concentrado todos sus esfuerzos investigadores a las relaciones entre vejez y exigencias nutritivas y sobre la influencia de la nutrición en el ritmo de envejecimiento corporal.

JULES JANICK, CARL H. NOLLER Y CHARLES L. RHYKERD ("Los ciclos de la nutrición vegetal y animal") trabajan en la University's School of Agriculture de Purdue. Janick, doctorado en Purdue en 1954, profesa en el Departamento de horticultura, es especialista en genética vegetal y mejora (principalmente, de frutos), editor de dos publicaciones profesionales *(Horst Science* y *Journal of the American Society for Horticultural Science)*, autor o coautor de dos tratados *(Horticultural Science* y *Plant Science: An Introduction to World Crops)* y coeditor de dos compilaciones monográficas de SCIENTIFIC AMERICAN *(Plant Agriculture y Food)*. Noller se doctoró por la Universidad estatal de Michigan y enseña zoología, en Purdue. Imparte diversos cursos de nutrición animal y está especializado en nutrición de rumiantes. Muchas de sus investigaciones las ha llevado a cabo en colaboración con Rhykerd, sobre el complejo suelo-vegetal-animal. Rhykerd, recibió su grado de doctor en Purdue en 1957. Comenzó trabajando como hibridador vegetal en la Dekalb Agricultural Association and Producers Seed Company y, más tarde, pasó al U.S. Pasture Laboratory, en Pennsylvania. En 1960 se incorporó al departamento de Agronomía de Purdue, en el que hoy profesa e investiga en el campo de la fisiología del cultivo y de la nutrición vegetal.

JACK R. HARLAN ("Las plantas y los animales que alimentan al hombre") enseña genética vegetal en el laboratorio de evolución de los cultivos adjunto al Departamento de agronomía de la Universidad de Illinois, en Urbana-Champaign. Graduóse en la Universidad George Washington, en 1938, y se doctoró en Genética por la Universidad de Berkeley, California, cuatro años más tarde. Trabajó durante bastante tiempo como funcionario del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Pasó luego a Oklahoma, en donde llevó a cabo investigaciones en la estación experimental de la Universidad del estado, en la que también enseñó. Desde 1968 pertenece al claustro docente de la Universidad de Illinois. Fue el penúltimo presidente de la Crop Science Society of America.

ROBERT S. LOOMIS ("Sistemas de agricultura") es profesor en el Departamento de agronomía y edafología de la Universidad de Davis, California. Inclinado al estudio de la física, decidió dedicarse más tarde al estudio de la botánica cuantitativa obteniendo su licenciatura por la Universidad de Wisconsin por su trabajo sobre la cantidad de eficacia de la fotosíntesis. Tras un breve paso por las Fuerzas Aéreas, se dedicó a la práctica agrícola. Volvió a Wisconsin para doctorarse en 1956. Se dedica en Davis al estudio de modelos de crecimiento vegetal simulados por computador. Fue el primer presidente de los graduados en ecología en Davis y dirigió por tres años el Instituto de ecología de dicha Universidad.

EARL O. HEADY ("La agricultura de Estados Unidos") es profesor emé-

rito de la Universidad de Iowa, en donde también dirige el Center for Agricultural and Rural Development. Nació y se crió en la campiña de Nebraska, en cuya Universidad se formó. Investigador y escritor prolífico es autor o coautor de 17 libros y de más de 725 artículos, boletines de investigación y monografías. En la actualidad es vicepresidente de la American Association of Agricultural Economists y de la homónima canadiense. Trabaja en comisiones de asesoramiento para el desarrollo agrícola en muchos países.

EDWIN J. WELLHAUSEN ("La agricultura de México") desempeñó un papel clave en la "revolución verde" mexicana como uno de los investigadores agrícolas más destacados de la misma. Antes de retirarse, hace de ello cinco años, ocupó sucesivamente los cargos de jefe de la Fundación Rockefeller para los asuntos de mejoramiento del maíz en México, de 1943 a 1952, y director general de la división agrónoma de la Fundación en México desde 1959 a 1963; y desde esta última fecha hasta 1971 dirigió el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Nació en Oklahoma, se educó en la Universidad de Idaho (licenciándose en Fitopatología y Agronomía) y recibió el doctorado en Genética vegetal en la Universidad estatal de Iowa, en 1936. Entre sus múltiples contribuciones para el autoabastecimiento cereal de México, participó en el desarrollo de unas 50 variedades de híbridos del maíz de alto rendimiento.

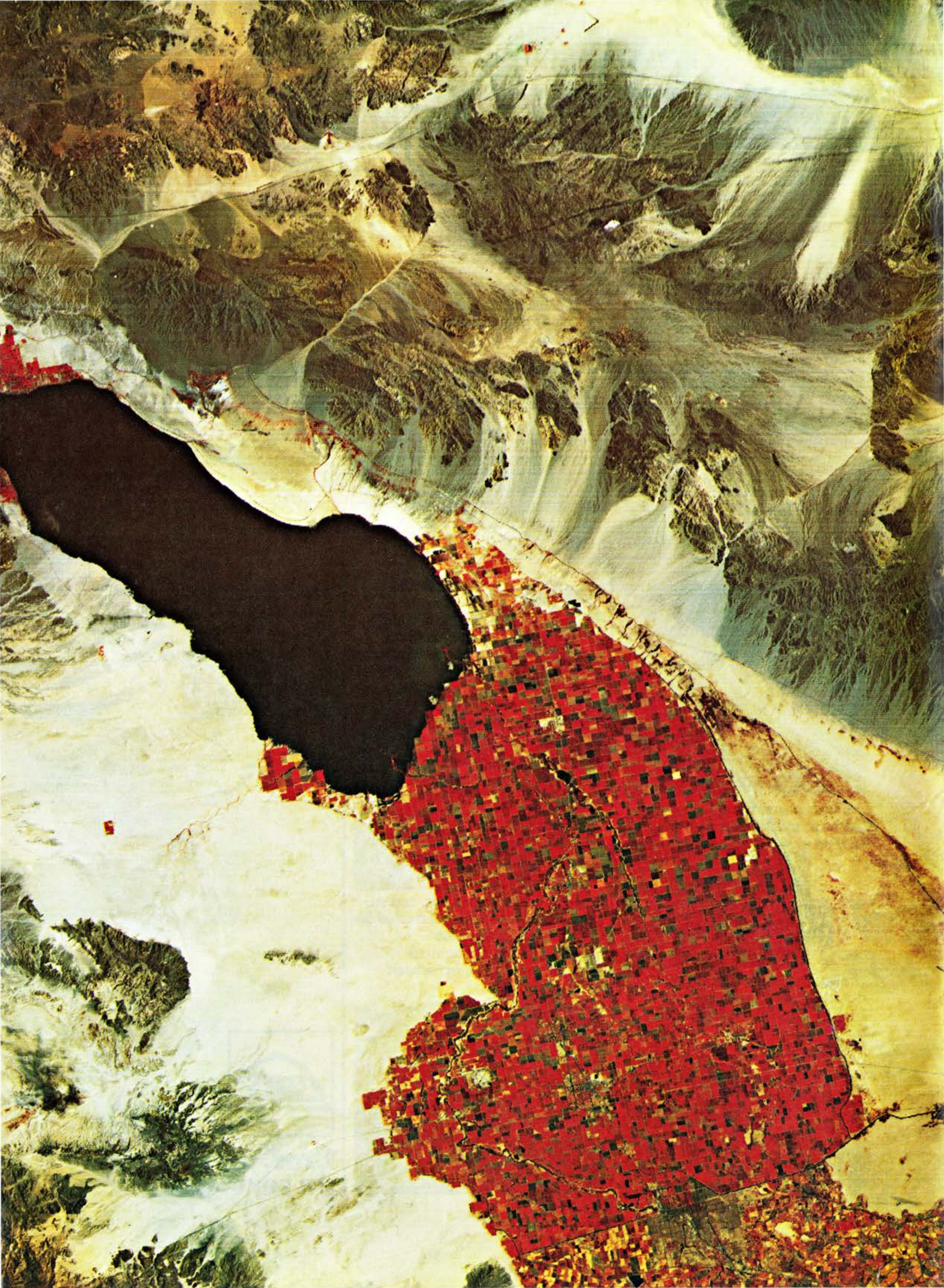
JOHN W. MELLOR ("La agricultura de la India") dirige el gabinete económico de la Agency for International Development (AID), del Departamento de Estado norteamericano. Es profesor excedente del Seminario de economía agrícola de la Universidad de Cornell, en la que dirigió el programa sobre Desarrollo económico comparado. Estudió en la Universidad de Cornell, en la cual se doctoró en 1954, y en la de Oxford, donde se especializó en economía agraria. Su campo de interés se centra en la India, en donde ha vivido largas temporadas y a la que acude anualmente desde 1958. Su último libro, *The New Economics of Growth: A Strategy for India and the Developing World,* presenta una estrategia global del desarrollo, fundamentada en un incremento decidido del desarrollo agrícola. Antes de ingresar en la AID, fue miembro asesor de la Fundación Rockefeller, del Banco Mundial, la FAO y de otras oficinas internacionales para el desarrollo. Sigue siendo vicepresidente de los Voluntary Services, que es una institución privada que precedió al Cuerpo de voluntarios de la paz.

ROGER REVELLE ("Recursos disponibles para la agricultura") es profesor de la Universidad de Harvard, en la cual dirige el Center for Population Studies. Antes de entrar en su claustro docente, estuvo adscrito durante muchos años a la Universidad de California, en donde había recibido el grado de doctor en 1936. Su primera actividad profesional la ejerció en el Instituto Scripps de Oceanografía, en calidad de ayudante de investigación y, posteriormente, llegó a ser director del Centro. Fue también director del campus de la Universidad de La Jolla, y decano del Colegio de Ciencias e Ingeniería. En 1961 se hacía cargo de la asesoría científica de la Secretaría del Interior. Investigador de amplio espectro, ha polarizado la mayor parte de sus esfuerzos en temas de geomorfología oceánica, análisis hidrológicos de Pakistán y tendencias de la demografía de los países en vías de desarrollo.

PETER R. JENNINGS ("Cómo aumentar la producción agrícola") ha contribuido significativamente al incremento de la producción mundial de alimentos de origen vegetal, colaborando en la Fundación Rockefeller en calidad de hibridador de variedades de arroz mejoradas. Se graduó en la Drew University, doctorándose en la de Purdue en 1957, y, a poco, pasó a la fundación. Sus cometidos en el seno de la misma le llevaron hasta Colombia, en donde dirigió el programa nacional del arroz, del Ministerio de Agricultura, de 1957 a 1961. Siempre debido a su especialidad pasó luego a Filipinas, en donde se haría cargo del Departamento de mejora en el Instituto Internacional de investigaciones del arroz (IRRI, que corresponde a las iniciales del nombre inglés del centro). De vuelta a Colombia, supervisó el programa de mejoramiento del arroz en el Centro internacional de agricultura tropical, por los años 1967-1975. Hoy es director adjunto de la división de agronomía de la Fundación en Nueva York.

W. DAVID HOPPER ("La evolución de la agricultura en los países en vías de desarrollo") preside el International Development Research Centre, con sede en Ottawa. Antes de regresar a su Canadá natal, en 1970, vivió durante diez años en Nueva Delhi en donde dirigió la evaluación del Ford Foundation's Intensive Agricultura Districts Program y, más tarde, sería director adjunto del programa agrícola llevado a cabo en la India por la Fundación Rockefeller. Con anterioridad, tras haberse formado en la Universidad de Mc Gill, fue becario en la India para estudiar la organización económica de una población de la llanura gangética, subvencionado por el Social Science Research Council. Se doctoró posteriormente en economía agraria y antropología cultural por la Universidad de Cornell, en 1957. Participaría luego activamente en la "revolución verde" de los países asiáticos colaborando con el Banco Mundial, Banco Asiático de Desarrollo y la FAO. En la actualidad preside el subcomité del Consultive Group for International Agricultural Research.

EDUARDO PRIMO YUFERA y SALVADOR BARBER ("Química y tecnología del arroz") han colaborado durante muchos años en el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, con sede en Valencia (España). P. Yúfera preside en la actualidad el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, al tiempo que mantiene la dirección del centro experimental antes citado. Es doctor en Ciencias Químicas y catedrático de Químico agrícola de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Valencia. Tiene en su haber numerosos galardones concedidos por el Estado por sus investigaciones en el campo de la transformación de los alimentos. Colabora como miembro activo en numerosos institutos, entre los cuales: International Union of Food Science and Technology, Division of Agricultural and Food Chemistry y Real Sociedad Española de Física y Química. Barber se formó en la Universidad de Valencia, en donde recibió el doctorado en Química, en 1960. Enseña en la Escuela Superior de Agrónomos de Valencia y trabaja activamente como profesor de investigación en el Instituto de Tecnología y Agroquímica de Alimentos. Ha publicado numerosas colaboraciones científicas sobre los problemas del arroz, su estructura y transformación. Ha participado en programas de desarrollo patrocinados por la UNIDO, FAO y ECAFE.



Alimentación y agricultura

La solución del problema alimentario mundial pone una sola condición: que los esfuerzos en pro del desarrollo de los países agrícolas se concentren menos en la industria y más en la agricultura

Sterling Wortman

La situación alimentaria mundial es grave, precaria incluso. Pero, por primera vez en la historia, el mundo puede abordar eficazmente los problemas de acción recíproca entre producción alimentaria, rápido crecimiento de la población y pobreza. ¿Cuál será, pues, la moraleja de este número de *Investigación y Ciencia,* dedicado a la alimentación y a la agricultura?

Ciertos hechos son indiscutibles. La población mundial era de dos mil millones en 1930, alcanzó los tres mil millones en 1960, consta actualmente de cuatro mil millones y va en camino de llegar a los seis mil millones a finales de siglo. Por otra parte, parece que la tasa anual de crecimiento está llegando ya a un punto culminante. La tasa mundial de producción alimentaria está aumentando recientemente de forma paralela a la población. La "revolución verde" de fines de la década de 1960 representó una mejora importante de la productividad en las cosechas de cereales, principalmente en algunas zonas de Asia y Latinoamérica; China se autoabastece ya; la India acaba de informar sobre una abundante cosecha de granos. Pese a ello, gran parte del mundo no puede autoabastecerse durante años consecutivos y tiene que vivir de alimentos importados que proceden de los cada vez más mermados excedentes de unos cuantos países. Centenares de millones de personas, de varias naciones, viven en abyecta pobreza, sufren una desnutrición crónica que agrava su penuria y se hallan expuestos a hambres desastrosas cuando su precaria producción alimentaria se ve reproducida por la sequía, las inundaciones o las guerras (véase *Las dimensiones del hambre humana,* por Jean Mayer, página 18).

Ante ese panorama, algunos técnicos muy responsables predicen un hambre inminente de grandes proporciones internacionales. De éstos, unos, haciendo énfasis en que en muchos lugares se produce más alimento que el necesario, abogan por una redistribución radical del excedente por parte de los países ricos en favor de los pobres; otros proponen una solución diferente: abandonarían a las poblaciones de los países cuyas perspectivas de supervivencia consideran virtualmente nulas, recusándoles los alimentos y la ayuda técnica y económica, y enviarían en cambio ayuda selectiva sólo a los países con una razonable posibilidad de supervivencia. Por otra parte, muchos estudiosos del problema creen con optimismo que la producción de alimentos aumentará a medida que los conocimientos científicos y la tecnología se apliquen con más amplitud para mejorar la productividad agrícola, que las tasas de crecimiento de la población disminuyan con la generalización de la educación y la planificación familiar y, en tercer lugar, como consecuencia implícita del progreso económico.

En mi opinión, las pruebas reunidas en este número apoyan la segunda de las dos actitudes generales descritas, pero con una condición importante: el avance sólo tendrá lugar si nace directamente de unas medidas políticas radicalmente nuevas, tanto en las naciones ricas como en las naciones pobres. Importa comprender que las interrelaciones entre los problemas que plantean la baja productividad agrícola, las tasas elevadas del crecimiento demográfico y la pobreza ofrecen oportunidades a la par que dificultades. Un esfuerzo decidido por aumentar la producción agrícola en los países más necesitados y que tienen déficit alimentario puede ser el mejor medio de elevar la renta y acumular capital para el desarrollo económico, y, por consiguiente, de impulsar a los países pobres, luego de un período de transición, hacia tasas moderadas de crecimiento demográfico.

EL VALLE IMPERIAL, en el centro de la parte meridional de California, es el enclave donde existe la mayor extensión de agricultura de riego del hemisferio occidental; en un terreno casi llano, se cultivan cerca de 250.000 Ha de tierra de gran rendimiento, siendo las principales cosechas de cebada, alfalfa, remolacha, centeno, algodón, hortalizas, explotándose también la cría de ganado. La franja principal del valle se extiende desde el lago Salton, en el norte, hasta la frontera mexicana, en el sur. La precipitación media anual es de unos 76,20 mm, y la temperatura sobrepasa en general los 37 grados centígrados durante más de 110 días al año. El Valle recibe la mayor parte del agua para su riego del rio Colorado a través del All-American Canal, de 128,744 kms de longitud *(línea obscura abajo, a la derecha).* **El lago Salton se formó entre 1906 y 1907, cuando el agua del Colorado desvió accidentalmente su cauce hacia una depresión seca, cubierta de sal, denominada Salton Sink, que se hallaba a unos 86 metros bajo el nivel del mar. El agua de las cuencas del Valle Imperial y del Valle Coachella (al noroeste) ha estabilizado desde entonces el nivel del lago salado frente a la evaporación. Esta imagen, compuesta por colores falsos, se ha procesado digitalmente y realizado a partir de los datos obtenidos por el LANDSAT 1, satélite destinado a reconocer los recursos de la tierra, el 22 de mayo de 1975. Es propiedad del Federal Systems Division de IBM; en la portada aparece ampliada la zona próxima a la frontera entre Estados Unidos y México.**

Desde 1798, año en que Thomas Malthus publicó *An Essay on the Principle of Population,* se han ido sucediendo las advertencias de que el número de habitantes, que está sujeto a un incremento exponencial, podría exceder –o lo haría ciertamente en un momento determinado– al suministro de alimentos, al que Malthus suponía un incremento aritmético. A lo largo de los años se han producido hambres locales y algunas carencias alimentarias más generalizadas; se registraron importantes carencias en los primeros años de la década de 1920, como secuela de la Primera Guerra Mundial; a finales de la década de 1940 y principios de la de 1950, después de la Segunda Guerra Mundial; también a mediados de la década de 1960, tras dos años de sequía, en el subcontinente indio; más recientemente, en 1972, cuando la producción mundial de cereales descendió 35 millones de toneladas y la URSS compró un gran volumen en el mercado internacional. Sin embargo, quince años atrás, la opinión pública no apreciaba todavía la naturaleza grave y crónica del problema alimentario mundial.

En 1963, Lester R. Brown, que trabajaba entonces en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, publicó un artículo en el que presentaba las líneas de proyección hasta el año 2000 de los cambios en la producción de cereales y en el comercio neto. Las proyecciones (no predicciones, sino extrapolaciones de las tendencias observadas en aquellos momentos) daban a entender que, aun cuando los países en vías de desarrollo triplicaran su producción cereal en el año 2000, las exportaciones de los países desarrollados a los menos desarrollados tendrían que cuadriplicarse como mínimo para atender una demanda creciente. En un artículo publicado en 1965, Brown indicaba que, antes de 1940, las zonas menos desarrolladas de Asia, Africa y Latinoamérica exportaban trigo, arroz, maíz y otros granos a las naciones más industrializadas. Sin embargo, una vez finalizada la Segunda Guerra Mundial, los países menos desarrollados habían agotado su excedente y la corriente invirtió su sentido. La exportación de cereales del mundo desarrollado al menos desarrollado se elevó de un promedio de casi cuatro millones de toneladas al año en 1948 a unos 25 millones de toneladas en 1964. Brown concluía: "el mundo menos desarrollado está perdiendo la capacidad de autoabastecimiento". A partir de entonces, el flujo de cereales desde unos cuantos países desarrollados a las naciones en vías de desarrollo ha intensificado su caudal; de hecho, al terminar la última cosecha se ha puesto de manifiesto que casi todas las exportaciones internacionales de granos proceden de Estados Unidos, Canadá y Australia *(véase la ilustración de la pág. 13).*

Según el International Food Policy Research Institute (IFPRI), si continúan las tendencias de la producción cereal de los últimos quince años, el déficit de granos de los países en vías de desarrollo con economía de mercado será de unos 100 millones de toneladas anuales en 1985-1986. Pero si prevalece la baja tasa de crecimiento de la producción, como ha sido la característica de los últimos siete años, su déficit anual podría alcanzar la impresionante cifra de 200 millones de toneladas

Tales líneas de proyección se refieren específicamente a los países pobres que no pueden producir el alimento suficiente para autoabastecerse. Hay naciones en vías de desarrollo (Tailandia y Argentina) que exportan alimentos, y otras, como China, que son virtualmente autoabastecedoras. Y existen numerosos países desarrollados que necesitan importar alimentos y que pueden pagarlos; no hay déficit alimentario local que no puedan curar las divisas. El problema se centra entonces en los países en vías de desarrollo con déficit alimentario. La complejidad de la tarea de mejorar la situación en dichos países estriba en sus condiciones particulares.

Mientras que, en 1974, el producto nacional bruto per cápita, en dólares, era de 6720 en Suecia, de 6640 en Estados Unidos, de 2770 en Italia y de 2300 en la URSS, unos 90 países tenían un pro-



LOS DEFICIT ALIMENTARIOS Y LA POBREZA se concentran en la extensa franja de naciones en vías de desarrollo, como muestra este mapa basado en categorías establecidas por el International Food Policy Research Institute (IFPRI). Unos cuantos países desarrollados son los

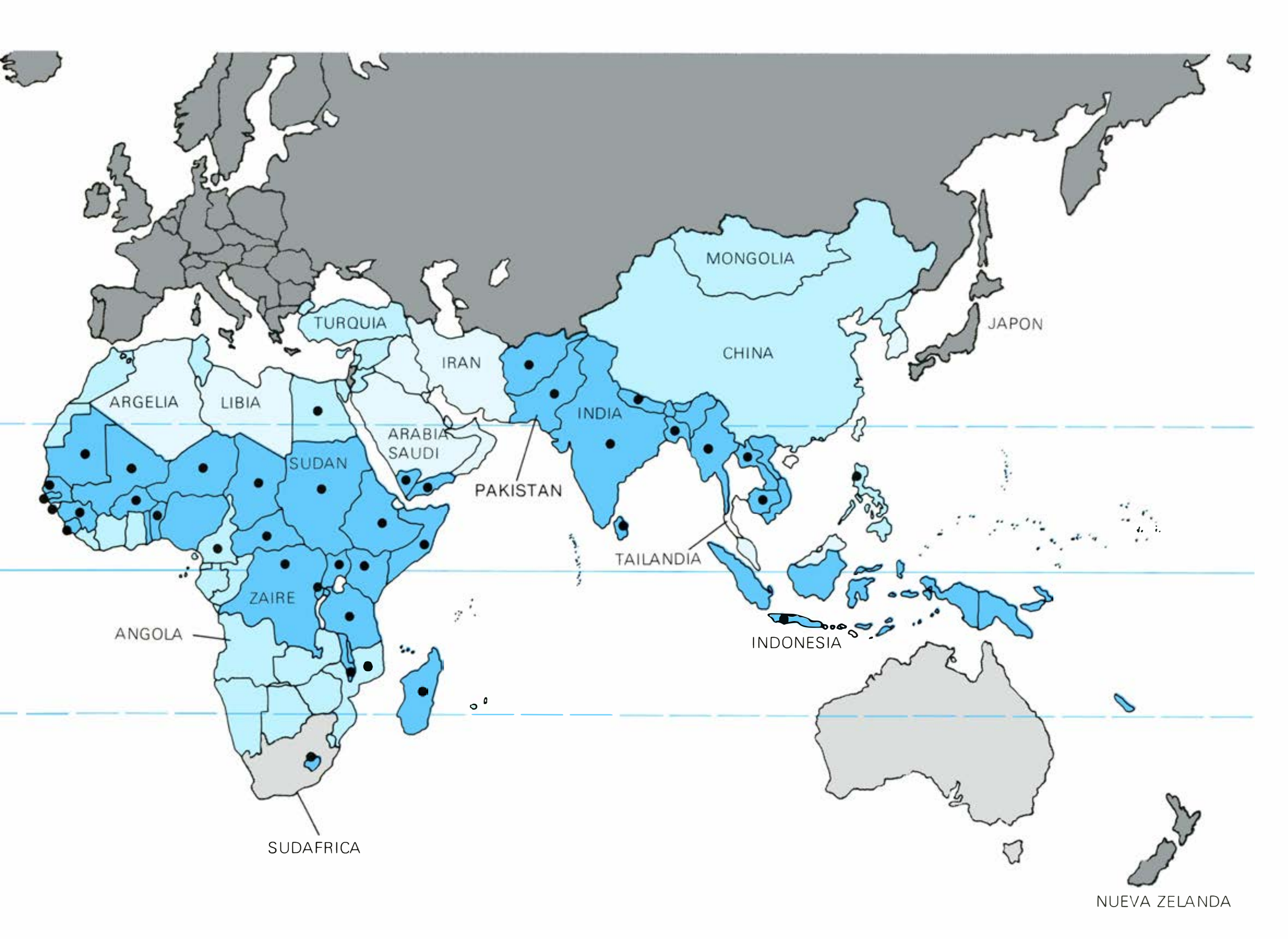
ducto per cápita por debajo de los 500 dólares; 40 de estos últimos no llegaban a los 200 dólares. Se trata de promedios estadísticos. En la mayoría de los países en vías de desarrollo con economía de mercado existen notables desigualdades de renta, hallándose los niveles de renta de las masas rurales por debajo de cualquier promedio. Considerados globalmente, estos países no tienen reservas suficientes de divisas; muchos dependen de la exportación de una sola materia prima o, como máximo, de unas pocas; la balanza comercial de dichos países es generalmente deficitaria y, sus deudas, cuantiosas.

Los países en vías de desarrollo son agrícolas. Del 50 al 80 por ciento de su población vive en zonas rurales, casi siempre lejos de los centros de gobierno. La mayoría gana su sustento en las faenas del campo, en la explotación de fibras vegetales, o en la cría de animales adaptados al terreno y a las condiciones climáticas locales. La productividad de sus cosechas y animales es, en casi todos los casos, increíblemente baja. La superficie de tierra cultivable en razón de la población va disminuyendo: en muchos países, la extensión cultivada por persona no llega a media hectárea. Hasta hace escasas décadas, la producción de alimentos podía incrementarse en la mayoría de países roturando nuevas tierras o abriendo nuevos pastos; esta opción está desapareciendo ahora en muchas naciones. Además, como la tierra se ha ido parcelando a lo largo de las sucesivas generaciones de herederos, la mayoría de los patrimonios familiares se han reducido a la mínima expresión.

Los campesinos apenas tienen acceso a la educación y a los cuidados sanitarios.

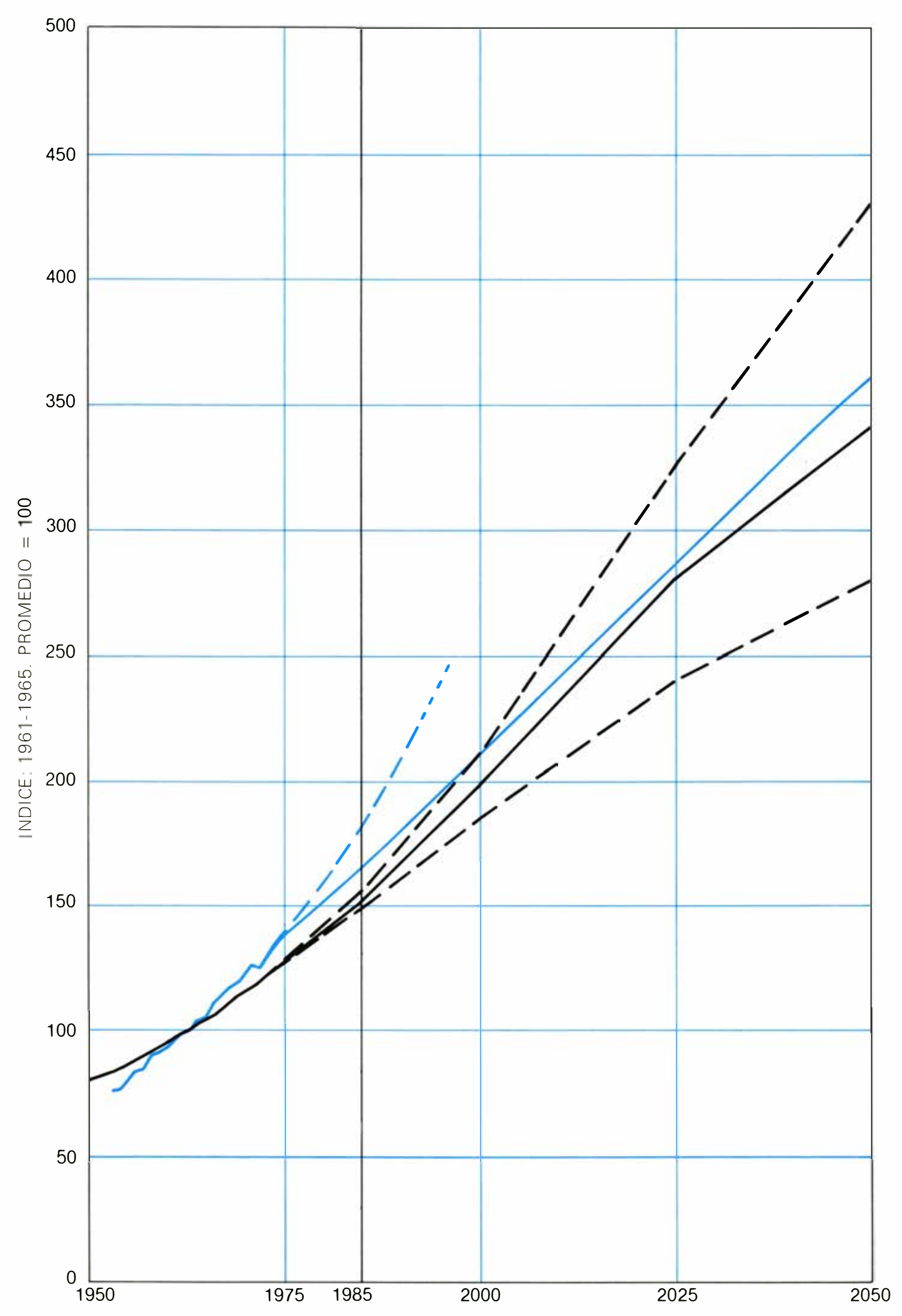
Las viviendas son de ínfima calidad, carecen de toda clase de comodidades. El promedio de vida es bajo, y las familias numerosas constituyen tradicionalmente una fuente de trabajo y seguridad para los padres en su ancianidad. Viviendo a menudo lejos de la vista y de la mente de los gobiernos que se encuentran establecidos en las ciudades, estas poblaciones rurales pueden considerarse hoy en día las más pobres.

Otro inconveniente para muchos de estos países es su reducido tamaño: en casi ochenta de ellos, la población no alcanza los cinco millones, y, en más de treinta, ni siquiera el millón. Tales naciones no pueden desarrollar por sí mismas toda la serie de servicios profesio-



principales exportadores de alimentos; el resto tiene evidentes déficit alimentarios, pero puede pagar su importación. Sólo los de renta relativamente elevada cuentan con las divisas necesarias para pagar sus alimentos. Las Naciones Unidas han establecido una relación de 43 países con prioridad alimentaria" *(topos negros)*, **cuyas rentas son especialmente bajas, las dietas inadecuadas y graves los déficit de cereales.**

nales, científicos y técnicos que se necesitan en diversos sectores importantes para el progreso; tienen que depender de recursos externos. La falta de instituciones y personal especializado de los países en vías de desarrollo se ve exacerbada por el hecho de que muchos de ellos han obtenido recientemente la independencia. Entre los países registrados por la ONU como los menos desarrollados o "más gravemente afectados" por las últimas crisis económicas, 36 son independientes desde 1945, 29 de los cuales lo son sólo a partir de 1960. El abandono de las potencias coloniales ha dejado a muchos de ellos sin la capacitación necesaria para mejorar la explotación de las cosechas, con instituciones débiles y, en muchos casos, sin el mercado exterior seguro ni las fuentes de suministro que existían cuando formaban parte de un sistema colonial.

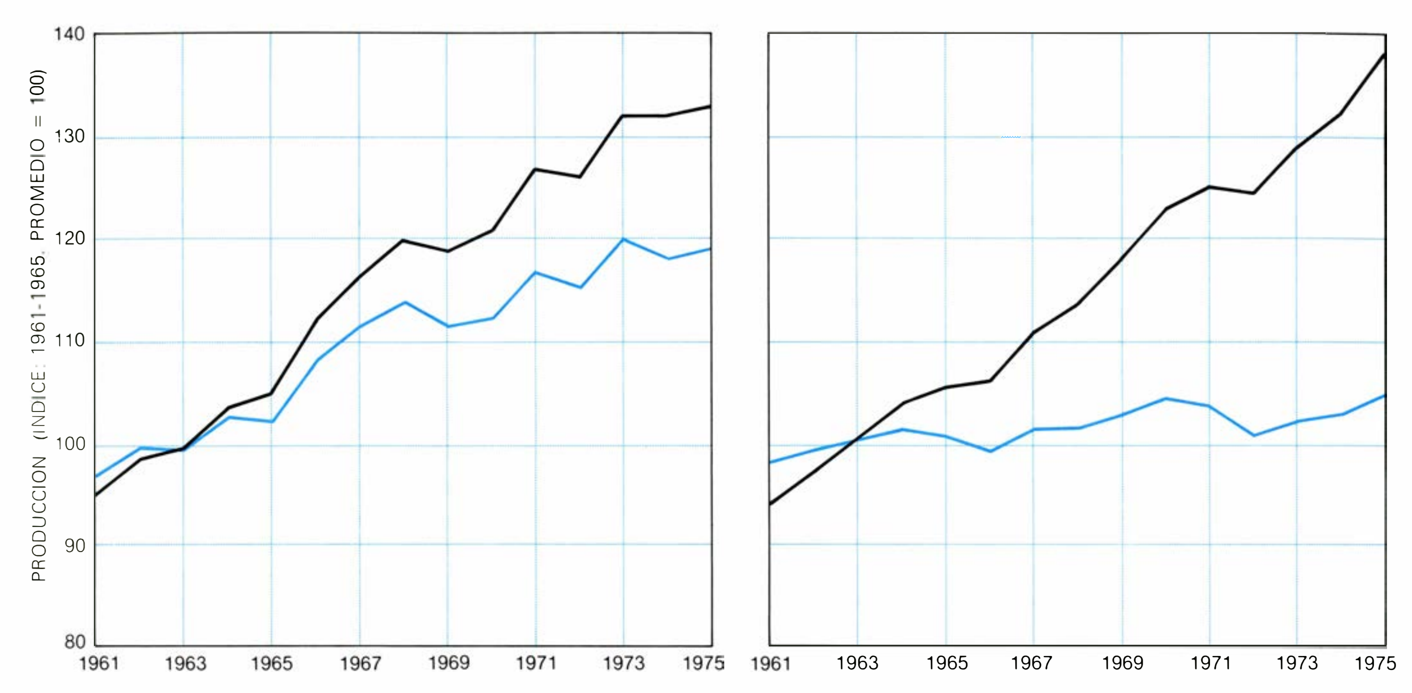


LA PRODUCCION MUNDIAL DE ALIMENTOS se mantendrá, probablemente, equiparada al nivel de la población en el futuro inmediato. La población mundial *(en negro)* y la producción de alimentos *(en color)* se representan aquí como números índices, tomando como 100 los promedios de 1961-1965. Los datos reales siguen un trazo firme hasta 1975. A partir de entonces, se muestran tres curvas del crecimiento de la población: las proyecciones alta, media *(negro continuo)* y baja de la ONU. Se dibujan dos proyecciones relativas a la producción de alimentos. Una *(color obscuro)* asume una tasa de crecimiento lineal (tal como Malthus supuso que aumentaba la producción de alimentos); se basa en la tasa del crecimiento (un promedio de tres puntos índice por año) entre 1961 y 1973. Ese aumento en la producción de alimentos está por encima de la proyección media del crecimiento de la población. La otra curva de producción de alimentos *(línea de color discontinua)* ilustra la proyección realizada por la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) de la ONU hasta 1985, si se mantuviera la tasa de crecimiento de 1961-1973, suponiendo una tasa de crecimiento exponencial. Estas curvas no comportan que la producción mundial de alimentos sea suficiente como para satisfacer la necesidad mundial, ni siquiera la "demanda".

Además, mientras dependían de la metrópoli, su agricultura y su ganadería básicas quedaron descuidadas. Muchos países en vías de desarrollo cuentan ahora con numerosos centros de investigación del café, el cacao, el aceite de palma, la goma, el yute u otras cosechas de exportación; sin embargo, años atrás, apenas había centros similares para el trigo, el arroz, el maíz, las legumbres, los tubérculos, las hortalizas y otros productos esenciales para alimentar a la población rural y urbana. Es más, desde la independencia, la atención de los gobiernos y de la industria ha tendido a continuar polarizada en las cosechas naturales o elaboradas que pueden producir divisas. Se ha pensado poco en facilitar la investigación y la capacitación, así como en establecer los sistemas de mercado que previamente se habían puesto en práctica, en conexión con las cosechas a exportar. En muchos de estos países esencialmente agrícolas, los hombres que detentan el poder son oficiales del ejército, abogados, empresarios, ingenieros u otros que apenas saben nada de agricultura y agronomía.

Un número creciente de personas, en su mayoría campesinos, se encuentra ahora descontento. Con los adelantos en la comunicación de masas y en los sistemas de transporte, esta gente olvidada durante tanto tiempo está empezando a darse cuenta de que sólo una pequeña fracción de los ciudadanos goza de las comodidades de la vida. No percibiendo motivos de esperanza para sí mismos o para sus hijos, se muestran receptivos a cualquier ideología que les ofrezca lo que consideran más importante: comida, ropas, vivienda, cuidados sanitarios, educación, seguridad y esperanza.

En consecuencia, los jefes de gobierno van percibiendo cada vez con mayor claridad que, si no toman medidas para desarrollar las zonas rurales, es muy posible que tengan que enfrentarse con un malestar creciente, la violencia e, inclu-



LA PRODUCCION DE ALIMENTOS ha aumentado en los países desarrollados *(izquierda)* **y en los que están en vías de desarrollo** *(derecha),* **a un ritmo parecido** *(trazo negro).* **Según la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el aumento queda invalidado en los países en vías de desarrollo, ya que el rápido crecimiento de la población reduce la producción per cápita** *(color).*

so, la revolución. Aflora una nueva voluntad política de ocuparse de la agricultura. Las tendencias en los suministros mundiales de alimentos han contribuido a esta voluntad y a esta alerta. Ante la disminución de reservas de cereales en Estados Unidos y en otras naciones superproductoras, muchos dirigentes de países en vías de desarrollo no pueden contar ya con un acceso permanente a los suministros baratos (e incluso gratuitos) que les han permitido mantener bajos los costos de la alimentación en las zonas urbanas, mientras seguían descuidando las agrícolas. El elevado costo de los alimentos en los mercados internacionales, que requiere un gran desembolso de sus escasas divisas ha obligado a algunos gobiernos, por primera vez, y por motivos políticos, a preocuparse de sus poblaciones rurales. La reducción de excedentes podría convertirse, irónicamente, en uno de los acontecimientos más positivos de los tiempos recientes, si ello galvaniza a los gobiernos para que actúen.

Para comprender la clase de acción exigida, será de utilidad considerar las etapas por las que pasan los sistemas agrícolas y las transformaciones ocurridas en el presente siglo. Durante milenios, los hombres han practicado una agricultura tradicional de subsistencia. Desde que los pueblos cazadores y los recolectores empezaron a dedicarse al cultivo sedentario, ha habido una larga y lenta evolución de innumerables sistemás de producción agrícola y ganadera, muchos de los cuales persisten en la actualidad (véase *Las plantas y los animales que alimentan al hombre,* por Jack R. Harlan, pág. 64). Los sistemas tradicionales de cultivo comprometen únicamente al agricultor y a sus animales, sus semillas y su tierra, sin apenas involucrar a los gobiernos, a la industria o la cooperación con los demás. La productividad de tales sistemas se ve considerablemente limitada por la fertilidad del suelo y la acción del clima; la renta familiar, en efectivo o en especie, depende en parte del tamaño de la explotación que puedan acometer los miembros de la familia. La mayoría de agricultores del mundo practican aún alguna forma de cultivo de subsistencia.

Basado en la ciencia y en la tecnología, e impulsado en gran parte por la demanda del consumidor, se ha introducido, casi por entero en nuestro siglo, un tipo significativamente distinto de desarrollo agrícola. Esta revolución agrícola, cuyos artífices y pioneros han sido las naciones occidentales, ha recibido el apoyo de instituciones dedicadas a la investigación y la educación, de entidades industriales y públicas y la dedicación de poblaciones campesinas cada vez más exigentes e innovadoras (véase *La agricultura de los EE.UU.,* por Earl O'Heady, página 86). Los últimos 75 años han visto la introducción de variedades de cultivo y razas de animales más eficaces, el desarrollo, perfeccionamiento y más amplia aplicación de fertilizantes químicos y de medios para controlar las enfermedades y las plagas de insectos, la mecanización del campo, la tendencia hacia una agricultura más industrializada y otras formas de empresa agraria, todo ello apuntalado por una infraestructura de redes más extensas de carreteras, energía eléctrica y comunicaciones.

Lo que ahora empezamos a ver, y lo que hay que fomentar, no es simplemente la expansión de este modo de vivir técnico-científico a los países en vías de desarrollo, sino una nueva etapa de impulso de desarrollo agrícola y rural, hecho de modo consciente y a paso acelerado, dirigido por varias fuerzas nuevas más poderosa que la creciente demanda del consumidor (véase *La evolución de la agricultura en los países en vías de desarrollo,* por W. David Hopper, pág. 146). Multitud de países están buscando, sin ambages, formas de elevar la producción alimentaria, las rentas y los niveles de vida entre las masas rurales, no al plazo de 50 o 75 años que tales cambios requirieron en los países occidentales, sino a otro más apremiante de 10 o 15 años. No tienen tiempo que perder.

El primer objetivo ha de ser incrementar la producción alimentaria, pero no basta con ello. Al fin y al cabo, la gente

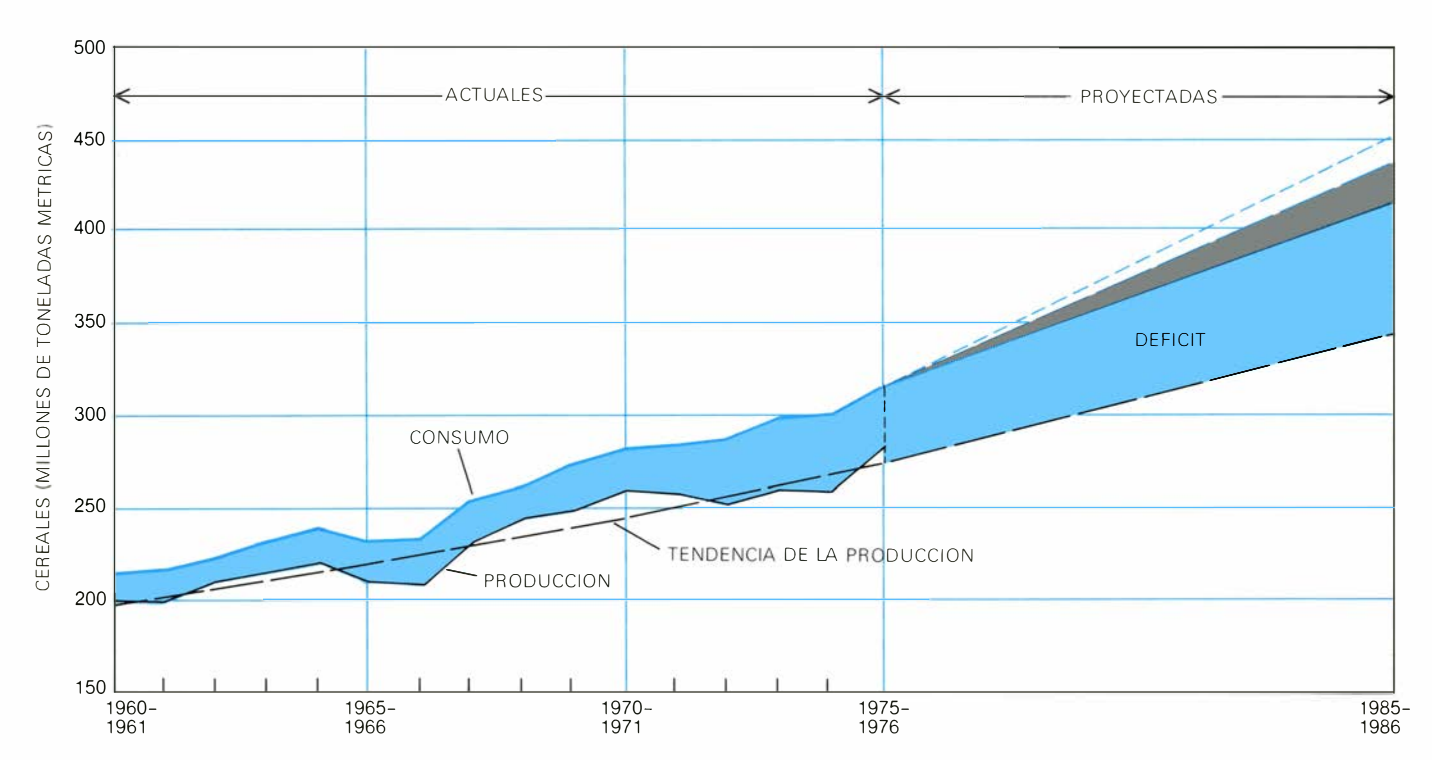
sólo puede obtener comida de tres formas aceptables (si se excluyen el hurto y la violencia). Primero, los que poseen tierra pueden cosechar sus propios alimentos, o al menos algunos de ellos y durante una fracción del año; es preciso encontrar medios que les permitan aumentar su producción. Segundo, la gente puede recibir alimentos en concepto de regalo, pero esto no es más que concederles más tiempo de vida, y no significa ninguna solución definitiva para su pobreza básica. Tercero, se pueden comprar alimentos si se tiene dinero, pero la gente hambrienta carece de él, ya viva en los países en vías de desarrollo, en los Estados Unidos o en cualquier lugar donde se pase hambre.

Así pues, hay dos vertientes en la solución del problema alimentario: un aumento en la producción de alimentos principalmente en los países en vías de desarrollo, y un aumento general de los ingresos familiares, en particular entre los pobres. La elevación de las rentas tendrá que venir primordialmente de un incremento en la productividad y la rentabilidad de la agricultura, del desarrollo de la industria (sobre todo, industrias de trabajo intensivo, especialmente en las áreas rurales donde vive mayor población), del empleo en la construcción y obras públicas y de la creación de distintos servicios que serán necesarios conforme las zonas rurales vayan prosperando.

Los campesinos que poseen minifundios cultivados por la familia aportan el grueso del suministro de alimentos de la mayoría de los países agrícolas. Mejorar la productividad y la renta de estas gentes supondrá la introducción de nuevos sistemas altamente productivos de cosecha y cría de animales, basados en métodos científicos y adaptados a la combinación singular de suelo, clima y condiciones biológicas y económicas de las distintas regiones de cada nación (véase *Sistemas de agricultura,* por Robert S. Loomis, página 76). Lo que hay que arbitrar ahora son campañas combinadas en el ámbito rural: la enseñanza de nuevas técnicas y la disponibilidad de nuevas variedades de cosechas y animales, la construcción de una red viaria y de un plan energético, la aportación de fertilizantes, insecticidas y vacunas contra enfermedades de los animales y la disponibilidad de créditos a la explotación y venta de los productos agrícolas.

Todo esto se encamina a crear el principal motor del desarrollo rural: un aumento generalizado de la renta de la población rural. Mientras no aumente su capacidad de adquisición mediante un empleo dentro o fuera de la explotación familiar, no habrá solución al problema alimentario mundial. La difusión de sistemas de producción con base científica y orientación mercantil entre las masas rurales capacitará a los países en vías de desarrollo para ampliar substancialmente los mercados domésticos que tiene su industria urbana. A medida que las familias agricultoras obtengan rentas más elevadas mediante un incremento en sus ganancias, podrán convertirse en compradores de bienes y servicios, proporcionando puestos de trabajo y rentas más elevadas no sólo en sus propias explotaciones sino también en los centros comerciales del campo y en la ciudad. Con otras palabras, lo que intento decir es que el perfeccionamiento de la productividad agrícola constituye el mejor camino para el progreso económico de los países agrícolas en vías de desarrollo.

Me permitiré mencionar tres falsas soluciones a los problemas de la alimentación y el hambre, soluciones que se pro-

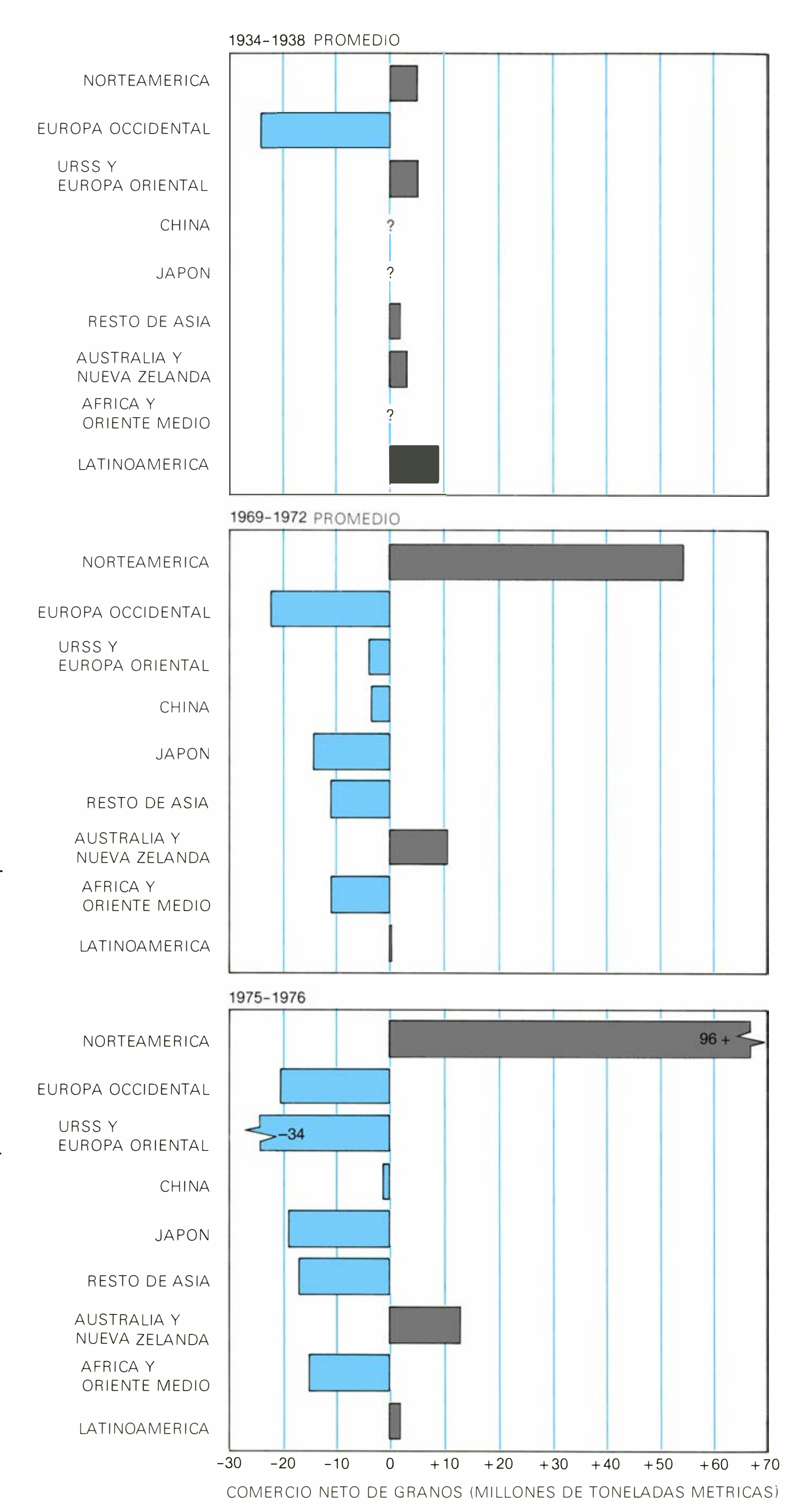


EL DEFICIT ALIMENTARIO EN EL FUTURO, en los países en vías de desarrollo, previsto por el IFPRI. Se aportan los datos exactos hasta 1975-1976 (acaba de recogerse la cosecha anual) de la producción y consumo de cereales en las naciones en vías de desarrollo, con economía de mercado, que tienen déficit alimentarios. Se calculó la tendencia de la producción desde 1960-1961 y se proyectó la línea de tendencia hasta 1985-1986. Se proyectó la demanda futura a partir del consumo humano actual, en función del crecimiento de la población e hipótesis alternativas sobre el incremento de la renta per cápita (modificadas por los datos de la "elasticidad de la renta". que reflejan la medida en que el aumento de los ingresos se emplearía en el consumo de cereales); a ésta se añade el grano-pienso animal en los países que son lo bastante ricos para convertir en carne gran cantidad de grano. Se muestran tres proyecciones de demanda *(color)* . Una supone que no habrá progreso en el consumo per cápita sobre el nivel 1969-1971 *(línea llena),* otra supone un bajo crecimiento de la renta *(trazos discontinuos negros)* y la tercera un elevado crecimiento de la renta *(línea discontinua en color).*

ponen con frecuencia. No es ninguna solución abogar por mayores cosechas en los pocos países donde aún hay un excedente en la producción, sobre todo en Estados Unidos, Canadá y Australia. Esos países necesitan mejorar su productividad para crear excedentes destinados a la exportación, para equilibrar su balanza de pagos y para responder cuando sea preciso a necesidades urgentes de alimentos que surjan en alguna parte del mundo provocadas por desastres naturales. Sin embargo, seguir asignando alimentos, gratis o a bajo precio, a gobiernos que descuidan sus propias zonas rurales es contraproducente, en el sentido literal del término. Lo único que se consigue es permitir que esos gobiernos aplacen la dura e ingrata tarea de ayudar a su propio pueblo a promocionarse a sí mismo.

Tampoco es solución la introducción en los países en vías de desarrollo de una agricultura mecanizada a gran escala, al estilo occidental. Tales métodos pueden ser apropiados para zonas escasamente pobladas de algunos países y pueden ayudar a los gobiernos a poner rápidamente bajo control nacional los suministros de alimentos, pero no resuelven el problema de hacer accesibles los alimentos de las grandes explotaciones, ni siquiera a las familias que vivan cerca pero que carecen de dinero para pagarlos. Si los productos de tales explotaciones se destinaran exclusivamente a los consumidores urbanos, se privaría a los pequeños agricultores de estos mercados para sus propios productos; y lo que es tal vez más importante, los sistemas agrícolas mecanizados a gran escala rinden menos por zona unidad que el cultivo a pequeña escala.

El campesino minifundista puede dedicarse a sistemas "hortícolas" intensivos y altamente productivos, como el intercultivo (la plantación de más de una siembra en el mismo campo, en surcos alternos), el cultivo múltiple (siembras consecutivas, hasta cuatro al año en algunos lugares), la plantación de relevos (la siembra de una segunda cosecha entre los surcos de una cosecha anterior que está madurando) y otras técnicas que requieren atención a ciertos tipos de plantas que puedan crecer en los ribazos o márgenes. La cuestión es que la agricultura mecanizada es muy productiva en términos de rendimiento por hombre-año, pero no lo es tanto por unidad de tierra si se compara con los sistemas altamente intensivos. Y en muchos países es la tierra de labrantío lo que escasea



LA CRECIENTE DEPENDENCIA DEL MUNDO de unos pocos países en lo concerniente a las exportaciones de cereales respecto del modelo comercial antes de la última guerra, la situación relativamente reciente y las cifras estimadas del año pasado. Datos según L. R. Brown del Departamento de Agricultura (EE. UU.) y el IFPRI. Antes de la guerra, la mayoría de los países exportaban granos *(gris)*; Europa Occidental los importaba *(color)*. Hoy día, Estados Unidos y Canadá suministran grandes cantidades de cereales para compensar los déficit.

para la mayoría de pequeños agricultores.

Por último, tampoco supondrá ninguna solución el advenimiento de alimentos sintéticos, proteinas unicelulares, etc. Estos productos podrán ser tal vez valiosos aditivos, pero hay que comprarlos para consumirlos. Los infralimentados no tienen dinero, y la elaboración de nuevos alimentos no proporciona ningún incremento en la renta de los pobres. La única solución real del problema alimentario mundial es que los países pobres aumenten rápidamente la producción agrícola y ganadera y, en consecuencia, los ingresos de innumerables minifundios, estimulando así la actividad económica.

¿Hay alguna esperanza de que esto pueda hacerse? La afirmación de que éste es el momento para "un programa nuevo y atrevido" dista de ser, en absoluto, algo nuevo. Ya en 1949 el presidente Truman propuso su programa Point Four de ayuda técnica, puesto que "por primera vez en la historia, la humanidad posee los conocimientos y los recursos para aliviar los sufrimientos" de los pobres del mundo. ¿Es acaso hoy más razonable proponer una nueva iniciativa que hace un cuarto de siglo? La verdad es que, desde entonces, han ocurrido una serie de progresos significativos y esperanzadores.

Ante todo, la naturaleza del problema se empezó a comprender hace apenas una docena de años. Más arriba se observó que las primeras proyecciones de las necesidades y los déficit alimentarios hasta fines del siglo fueron hechas por Lester Brown en 1963 y 1965. La primera estimación comprehensiva se emprendió en 1966 por parte de unos 125 científicos americanos y otros especialistas bajo los auspicios del President's Science Advisory Committee; su informe, titulado "El problema alimentario mundial" *(The World Food Problem)*, apareció en 1967. Se han sucedido otros muchos análisis desde entonces, siendo el más reciente e importante el de la Conferencia de la Alimentación Mundial, en 1974. Durante los últimos diez años el mundo ha ido tomando conciencia y analizando las posibles condiciones técnicas y de organización requeridas, y ha terminado por aceptarse que la solución fundamental del problema alimentario mundial consiste en el incremento en la producción de alimentos básicos en todas las explotaciones agrícolas.

Sin embargo, la transferencia de tecnologías no es un proceso sencillo en agricultura, y el segundo avance esperanzador es que ahora se comprende bastante bien su complejidad. Mientras que la mayoría de los equipos tecnológicos pueden aplicarse en muchos lugares, los componentes biológicos de la tecnología agrícola tienen una aplicación restringida. Hay que adaptarlos a cada localidad y en ella han de desarrollarse.

Por ejemplo, cuando Norman E. Borlaug, de la Fundación Rockefeller, empezó a trabajar en la producción de trigo en México en la década de 1940, intentó primero elevar el rendimiento de las variedades locales mejorando las operaciones de labranza y de sostenimiento y aplicando fertilizantes químicos. Las plantas locales crecieron altas y exuberantes, siendo gravemente atacadas por el añublo. Mandó traer entonces de otras partes todas las variedades que consideró apropiadas para crecer en México, pero ninguna de ellas dio resultado, dadas las características locales en punto a longitud del día solar, condiciones climáticas y organismos patógenos autóctonos. Borlaug no tuvo otra alternativa que atenerse al lento proceso de cultivar nuevas variedades de trigo adaptadas específicamente a las condiciones de México. Al iniciar la investigación, empezó a instruir a jóvenes técnicos y científicos mexicanos en la mejora y cultivo adecuado del trigo así como en la realización de cruzamientos para obtener semillas de calidad. Cuando consiguió variedades de trigo más bajas y de tallo duro, resistentes a las enfermedades del lugar, pudo aplicar mayor cantidad de fertilizantes y cosechar más grano y menos paja. El aumento de la producción indujo, a su vez, al gobierno y a las organizaciones agrícolas a perfeccionar los sistemas de irrigación y de suministro de los fertilizantes necesarios protegiendo asimismo a las instituciones agrícolas (véase *La agricultura de México*, por Edwin J. Wellhausen, pág. 96). La cuestión es que la tecnología biológica básica impedía avanzar en la producción de trigo en México, del mismo modo que había impedido hacer progresos en el arroz

TENDENCIA ASCENDENTE de las cosechas de arroz *(en negro)* y trigo *(en color)* en varios países asiáticos en los que se ha implantado la "revolución verde"; dicha tendencia se debe a la introducción de variedades altamente productivas, una fertilización más intensa y métodos mejores de cultivo. Las fluctuaciones anuales de este gráfico corresponden a las variaciones climatológicas.



DOS VARIEDADES DE TRIGO crecen contiguamente en un campo del Instituto Hindú de Investigación Agrícola, cerca de Nueva Delhi. Las plantas de la izquierda se han "echado", debido a una fertilización excesiva por lo que algunas se romperán y otras pueden dañarse. Las plantas de la derecha no se han doblado; son variedades desarrolladas recientemente, dotadas de tres genes que determinan el enanismo. La resistencia al doblegamiento es crucial porque permite una fertilización intensa cuyo resultado será una mayor producción por hectárea.

en el sureste asiático, y que sigue obstruyendo una mejor explotación agrícola y ganadera en muchas partes del mundo.

El gran vacío existente en la investigación agrícola y pecuaria en zonas tropicales y subtropicales se ha cubierto ahora parcialmente al establecerse diez centros de formación e investigación agrícola en Asia, Africa y América Latina, seis de los cuales vienen funcionando desde 1970. Las costas corren en la actualidad a cargo de un consorcio de compañías internacionales, gobiernos nacionales y algunas fundaciones, cuya prestación ha ascendido de 15 millones de dólares en 1972 a 365 millones de dólares en 1976. Mientras tanto, varios gobiernos nacionales, entre los que se cuentan los de Brasil, India, Filipinas y Pakistán, están intensificando considerablemente sus propios esfuerzos en pro de la investigación. Por primera vez en la historia es ya realidad la creación de los componentes biológicos útiles para los sistemas agrícolas tropicales de alta productividad.

El tercer factor que justifica una postura de esperanza es el alto potencial de que se dispone para elevar los rendimientos. En 1971-1973 había 135 naciones productoras de importantes cantidades de maíz. El rendimiento nacional medio más elevado del mundo era de 7,2 toneladas métricas por hectárea en Nueva Zelanda; en los Estados Unidos era de unas 5,8 toneladas. Sin embargo, había 112 países en que el rendimiento nacional medio era inferior a las 3 toneladas, y en 81 de ellos no alcanzaba las 1,5 toneladas. Los rendimientos en otros sectores agropecuarios básicos son similarmente bajos, y reflejan el empobrecimiento de los suelos debido a décadas, cuando no a siglos, de cultivo continuo, la incapacidad de controlar enfermedades y plagas, la ínfima calidad genética de las variedades botánicas y razas zoológicas nativas, la ausencia de nutrientes esenciales en los fertilizantes o piensos, y otros factores.

En muchos de los países más pobres, la aplicación de fertilizantes químicos en las cosechas alimentarias (que constituye un buen índice del grado de intensificación de la agricultura) no ha hecho más que empezar. Cuando la fertilización se combina con variedades altamente productivas y mejores métodos de cultivo, el rendimiento puede incrementarse rápida y substancialmente, como quedó demostrado en la década de 1960 con las cosechas de trigo en la India (véase *La agricultura de la India,* por John W. Mellor, pág. 110). Ha revestido particular importancia la creación de ciertas variedades de trigo y arroz de poca altura y tallo duro, llamadas semienanas. Tales variedades pueden aprovechar los abonos nitrogenados y otros nutrientes destinados a la producción de granos mejor que las variedades nativas típicas, las cuales tienden a desarrollar una espiga muy alta cuando se intensifica la fertilización y a "echarse" o doblarse mucho antes de la siega, reduciendo el rendimiento. Por razones similares, se ha acortado la altura y robustecido los tallos de otros cereales, como el maíz, el sorgo y la cebada. Cuando se cultivan muy densificadas las variedades altamente productivas, se las abona adecuadamente con nutrientes y se les suministra la humedad correcta, los gastos invertidos en el control de enfermedades y plagas se amortizan sobradamente, mientras que no sería así con los niveles de bajo rendimiento de la agricultura tradicio-

nal. Estas nuevas variedades han sido los catalizadores de la revolución agrícola (véase *Cómo aumentar la producción agrícola,* por Peter R. Jennings, pág. 134). Sin embargo, para obtener rendimientos realmente superiores estas variedades han de cultivarse combinadas con fertilizantes, control de enfermedades y plagas, mayor densidad en la plantación y otras medidas.

El cuarto nuevo elemento es la disponibilidad, por vez primera, de fertilizantes químicos en una cantidad suficiente para una amplia producción agrícola básica en los países en vías de desarrollo. A principios de siglo, el total de la producción mundial de nutrientes químicos era sólo de unos 2 millones de toneladas por año. Aumentó a unos 7,5 millones de toneladas al final de la Segunda Guerra Mundial. Luego, de 1945 a 1955, la producción se triplicó hasta alcanzar los 22 millones de toneladas. En la década siguiente volvió a doblarse, y ahora se aproxima a los 80 millones de toneladas por año. En general, los fertilizantes químicos sólo pueden utilizarse en sistemas mercantilizados en los que una parte de la cosecha se vende para cubrir el costo de los factores de producción comprados. Limitada primeramente a sementeras superfluas y de valor elevado, la aplicación de fertilizantes comenzó a extenderse a las siembras de cereales en Estados Unidos y Europa. Ahora comprendemos por qué la revolución verde no fue otra cosa que una generalización notable de la revolución agrícola iniciada en los países industrializados.

Quinto. Se ha demostrado que los gobiernos pueden emprender acciones eficaces si lo desean, y que muchos agricultores adoptarán nuevas tecnologías si se les dan oportunidades razonables para hacerlo. Cuando en la década de 1960 la India introdujo con éxito variedades altamente productivas, fertilizantes y nuevos métodos de mantenimiento y cultivo en unos 13 millones de hectáreas, a lo largo de cinco años, se demostró que, disponiendo de tecnología, un gobierno puede incrementar rápidamente la producción agrícola si tal es su deseo, y que los agricultores aceptarán otros sistemas de cultivo más eficaces y provechosos cuando se les presente la ocasión. Ie han registrado éxitos posteriores, menos espectaculares, en Pakistán, Argelia, Filipinas, Malasia y otros países. Años atrás no se tenían pruebas de que los pequeños y medianos agricultores pudiesen beneficiarse, como los grandes, de los esfuerzos científicos y de planificación, siempre que éstos vayan directamente dirigidos a sus necesidades particulares. Tales esfuerzos no conocieron una dimensión internacional apreciable hasta finales de la década de 1960.

Sexto. Hay actualmente en funcionamiento una extensa red de entidades financieras, entre las que se encuentran el Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo, el Banco de Desarrollo Asiático, el Banco de Desarrollo Africano, varios bancos del Mercado Común y bancos de crédito agrícola nacionales en la mayoría de los países más pobres. Durante los últimos tres o cuatro años, casi todas las grandes entidades financieras han incrementado substancialmente su atención al desarrollo agrícola y rural. En todo el mundo funcionan ya la mayor parte de las entidades necesarias para financiar planes agrícolas de vasto alcance. La mayoría de estas entidades no existían en la época del presidente Truman; las pocas establecidas entonces contaban con fondos limitados y, en general, daban más importancia al desarrollo industrial que al agrícola.

Séptimo. Ha surgido una serie impresionante (pero aún insuficiente) de entidades que ofrecen a los países en vías de desarrollo la tecnología y la dirección empresarial necesarias para potenciar sus programas nacionales; en algunos casos ofrecen ayuda financiera para proyectos y programas de interés real. Entre ellas, además de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), hay oficinas de ayuda bilateral en 16 o más naciones industrializadas y subvenciones del Banco Mundial y de los bancos regionales. Las fundaciones Ford, Kellogg y Rockefeller desarrollan activos programas. El Centro Internacional de Investigación del Desarrollo de Canadá se ha convertido en una fuerza prototipo. Una nueva organización privada de asistencia profesional, el Servicio Internacional del Desarrollo Agrícola, empezó a funcionar en 1975. Otras vías adicionales de asistencia operan con el apoyo de la industria.

Es de importancia especial la libertad que recientemente han conguido algunas oficinas nacionales para costear los trabajos ordenados directamente a potenciar la producción de cosechas básicas. La Oficina Americana para el Desarrollo Internacional (AID), por ejemplo, vio frenada su actuación hasta 1969 por razones políticas (al igual que la oficina análoga de Canadá), por la resistencia que había a implicarse en los esfuerzos directos y visibles que se estaban realizando en otros países para aumentar la productividad de la agricultura básica, en particular de cereales. Existía la creencia general, tanto dentro como fuera del gobierno norteamericano, de que no se debía alentar a otras naciones a incrementar la producción de tales cosechas... por miedo de la competencia con la política estadounidense de vender sus excedentes o incluso de regalarlos. Por ejemplo, hasta la última semana del mandato del presidente Johnson, la AID no procedió a prestar ayuda financiera al Instituto Internacional de Investigación del Arroz, de Filipinas, y al Centro Internacional para el Perfeccionamiento del Maíz y el Trigo de México. Para entonces ya era evidente que los crecientes déficit de los países en vías de desarrollo no tardarían en rebasar la capacidad de producción de los Estados Unidos y los demás productores de excedentes, y empezaba a ponerse de manifiesto que gran parte de la esperanza de extender los mercados internacionales de toda índole residía en mejorar la situación económica de muchos países agrícolas. El que estas instituciones estadounidenses y canadienses no pudieran ayudar directa y abiertamente a otras naciones a incrementar la producción de sus cosechas básicas, fue la causa de que se enfrentaran con retraso al problema, lo que vienen haciendo desde hace solamente siete años. Esta desventaja inicial ya ha sido superada, y se ha compensado por medio de una mayor eficacia.

Pero persiste otro importante obstáculo. La mayoría de las instituciones y de los individuos de Europa y Norteamérica no han tenido apenas oportunidad de adquirir experiencia en la organización de campañas bien planeadas para el desarrollo agrícola. Ello es comprensible. Durante muchos de los últimos 20 o 30 años, los Estados Unidos y Canadá tuvieron problemas de exceso de producción; no había necesidad de que entidades públicas o universitarias se comprometieran en campañas nacionales para elevar la producción agrícola. Además, estos países disponen de un nutrido grupo de empresarios agrícolas que son investigadores e innovadores por derecho propio, que seleccionan mejores variedades obtenidas en el laboratorio o en las estaciones experimentales, y los emplean en sistemas de cultivo altamente rentables a nivel de explotación familiar. Este tipo de empresario, culto y excepcionalmente capacitado, escasea en la

mayoría de los países en vías de desarrollo. Quienes presten asistencia técnica se verán obligados a crear sistemas de desarrollo agrícola y rural para multitud de gentes inteligentes, pero faltas de educación e incapaces por tanto de emprender sin ayuda externa las innovaciones exigidas en toda explotación agrícola.

Octavo. Algunos gobiernos de países de renta baja están dando muestras de una firme determinación por desarrollar sus áreas rurales, haciendo especial hincapié en el incremento en la producción de alimentos básicos, en la promoción de industrias de trabajo intensivo en áreas rurales y en la extensión de las redes comerciales y de aprovisionamiento hasta zonas en donde jamás las hubo antes.

Por último, hay todavía considerables extensiones de terreno cultivable, que se encuentran sin roturar y que podrían colonizarse, excepto tal vez en Europa y partes de Asia (véase *Recursos disponibles para la agricultura,* por Roger Revelle, pág. 122).

Se necesitan campañas bien organizadas que fuercen el paso del desarrollo agrícola para que adquiera un ritmo que pocas naciones han experimentado antes. Los elementos clave de tales campañas son la aportación de tecnología biológica y capital para construir la infraestructura que ha de sostener el desarrollo rural. Aunque he insistido en que es mucho lo que los países pobres tienen que hacer por sí mismos, necesitan una ayuda masiva del mundo opulento.

Pero está en juego algo más que la pura mitigación del hambre en el mundo, por crucial que ésta sea. El perfeccionamiento de la productividad en los países en vías de desarrollo puede proporcionar a millones de personas no sólo alimento, sino también vivienda, vestido, atención sanitaria, educación... y esperanza. El incremento de la productividad agrícola es la mejor palanca para el desarrollo económico y el progreso social en el mundo en vías de desarrollo, y está claro que sin tal, desarrollo y progreso no puede existir, a largo plazo, seguridad alguna de mayor bienestar o de paz en ninguna parte del mundo. La existencia de nuevas posibilidades tecnológicas, financieras y de organización ofrece una magnífica oportunidad, tal vez pasajera, de emprender cursos de acción eficaces. La cuestión crucial, ahora, es saber si los gobiernos se apercibirán de ella y pondrán manos a la obra.

Las dimensiones del hambre humana

El número de seres humanos pobremente nutridos o subnutridos sólo puede calcularse de un modo aproximado, pero probablemente representa una octava parte de la población mundial; la mayoría de ellos viven en Asia y Africa

Jean Mayer

Una epidemia de hambre, pese a ser algo temible y devastador, puede, al menos, combatirse fácilmente. La situación de falta total de alimentos se presenta en una zona concreta y tiene una duración limitada; siempre que haya alimentos disponibles en algún lugar, podrán ponerse en marcha operaciones de socorro para hacer frente a la crisis. La desnutrición, en cambio, aflige a un número de seres humanos mayor que el que pueda verse afectado por cualquier plaga de hambre, pero es más difícil de determinar y de combatir. Sólo los profesionales familiarizados con los problemas de la alimentación y de la nutrición pueden diagnosticarla correctamente y fijar su gravedad. La desnutrición es una situación crónica que, según numerosos observadores, está empeorando en determinadas áreas geográficas. En una forma u otra, afecta a poblaciones de todo el mundo, y su tratamiento no requiere movilizaciones como las que se utilizan para combatir una crisis, sino acciones a largo plazo para evitarla, acciones que conciernen tanto a las políticas económicas y sociales como a las agrícolas y alimentarias. Y como trasfondo está siempre el hecho preocupante de que un crecimiento demasiado rápido de la población, sumado a un fallo en el aumento proporcional de la producción de alimentos, daría origen a hambres masivas imposibles de combatir.

Las estadísticas con que se bombardea a la opinión pública son de poca ayuda. ¿Qué puede sacarse en claro de datos tales como que mil millones de personas padecieron hambre y desnutrición el año pasado; que 10 millones de niños de todo el mundo están tan gravemente desnutridos que sus vidas están en peligro; que 400 millones de personas viven al borde de la inanición; que cada día mueren de hambre 12.000 seres humanos y que, solamente en la India, mueren cada año un millón de niños víctimas de la desnutrición? Si es preciso controlar el problema de la alimentación mundial, y yo opino que sí lo es, hemos de empezar por trazar sus límites conceptuales y situarlo en un marco temporal, como haríamos en caso de encontrarnos ante una plaga tan grave como es la del hambre.

Por consiguiente, comencemos por averiguar qué es exactamente el hambre crónica, por desnutrición, y cuál es su alcance. La primera parte de la pregunta puede responderse con exactitud; la segunda, pese a las estadísticas citadas, es una cuestión sobre la que se dispone de información poco precisa en particular.

La desnutrición puede producirse de cuatro formas distintas. En primer lugar, puede ser sencillamente que una persona no ingiera suficientes alimentos: es lo que se llama subnutrición. Puede ser que su dieta no incluya uno o varios alimentos básicos, lo que provoca enfermedades deficitarias tales como la pelagra, el escorbuto, el raquitismo y la anemia del embarazo, debidas a una insuficiencia en ácido fólico. Puede ser que tenga una malformación física o una enfermedad –de origen genético o ambiental– que le impida digerir correctamente los alimentos o asimilar algunos de sus componentes: esta circunstancia produce lo que se llama una desnutrición secundaria. Finalmente, y este caso es más de malnutrición que de desnutrición, puede ser que esté consumiendo demasiadas calorías o tomando en exceso uno o varios de los componentes de una dieta correcta: es lo que entendemos por sobrealimentación. Este último tipo de nutrición excesiva afecta a las clases acomodadas tanto de los países ricos como de los pobres. En ciertas naciones, unas dietas ricas en calorías, ácidos grasos saturados, sal y azúcar, pobres en frutas y verduras, e insistentes en alimentos altamente elaborados, favorecen la gran incidencia de la obesidad, la diabetes, la hipertensión, la arteriosclerosis y las deficiencias marginales en ciertos minerales y vitaminas del grupo B. Las ridículas dietas de adelgazamiento, que excluyen categorías enteras de alimentos provechosos, son un ejemplo de las causas –en este caso autoprovocadas– que originan desnutriciones de los dos primeros tipos. Pero los problemas de nutrición de los ricos no son el tema de este artículo. Por el contrario las causas que dan lugar a desnutrición de los tres primeros tipos se presentan, con frecuencia combinadas, en las áreas geográficas en las que la oferta de alimentos es limitada.

ESTA FAMILIA CAMPESINA DE LA ALABAMA POBRE DE 1936 fue fotografiada por Walker Evans para la Farm Security Administration del Departamento de Agricultura de Estados Unidos. El campesino era Bud Fields, y vivía en el condado de Hale, en la región centro-occidental del estado. En los cuarenta años transcurridos desde entonces, se ha eliminado la pobreza de la zona mediante programas de desarrollo, como el Tennessee Valley Authority. En esta demarcación, como sucede hoy en los países en vías de desarrollo en que el hambre es endémica, los efectos de la desnutrición en mujeres gestantes y niños en edad de crecimiento fueron gravísimos.

Una insuficiencia crónica de calorías provoca, en los niños, apatía, desgaste muscular y fallos en el crecimiento; en los adultos, origina una pérdida de peso y reduce tanto la capacidad para la actividad como la inclinación hacia ella. Las personas subalimentadas, sea cual fuere su edad, son más vulnerables ante las infecciones y otras enfermedades, y se recuperan más lentamente y con mucho mayor dificultad. Los niños que padecen una deficiencia proteínica crónica crecen más lentamente y son más pequeños de lo que corresponde a su edad; además, presentan ciertos síntomás característicos: erupciones cutáneas y palidez, edemas del hambre, cambio en el color del pelo, cuyo tinte anaranjado-rojizo sorprende especialmente en aquellos niños que, en condiciones normales, serían morenos. El espectro de la desnutrición proteínico-calórica (conocida por las siglas PCM por los especialistas) abarca desde una dieta relativamente alta en calorías y deficiente en proteínas (que se manifiesta por el síndrome de Kwashiorkor) hasta una dieta insuficiente tanto en calorías como en proteínas (que se manifiesta por el marasmo).

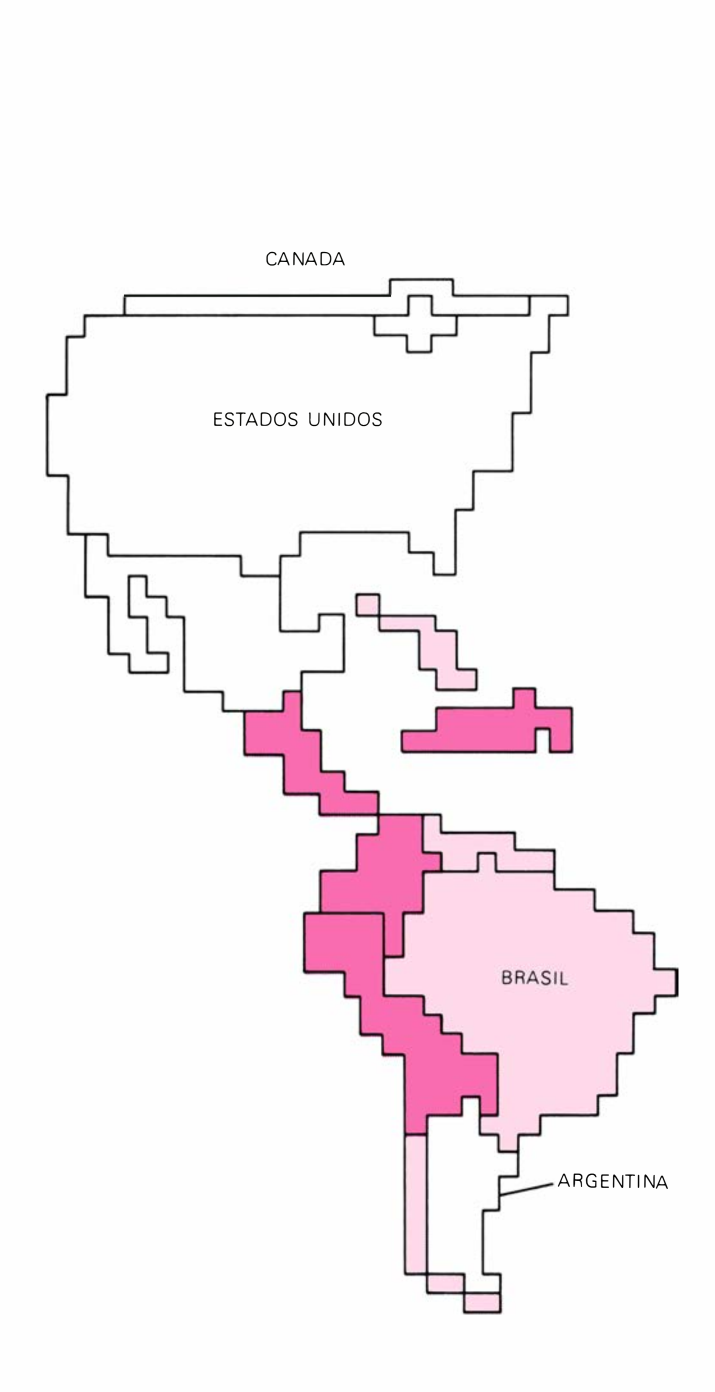
Si bien la desnutrición proteínico-calórica es la forma predominante de desnutrición, las enfermedades producidas por deficiencias de determinadas vitaminas o minerales también están muy extendidas. Es cierto que la incidencia de ciertas enfermedades deficitarias clásicas ha descendido drásticamente desde la Segunda Guerra Mundial. El beriberi es, en la actualidad, una enfermedad rara, y la pelagra ha sido prácticamente erradicada, al menos en su forma aguda; el raquitismo se observa sobre todo en su forma adulta (osteomalacia) en las mujeres musulmanas, por sus hábitos de vida que les impiden recibir la luz solar; e igualmente raros son los casos de escorbuto, que sólo aparece entre los prisioneros a los que no se suministra suficiente vitamina C. Sin embargo, la ceguera producida por deficiencia de vitamina A es muy frecuente en la India, Indonesia, Bangladesh, Vietnam, Filipinas, Centroamérica, el nordeste de Brasil y en ciertas zonas de Africa. En algunas áreas muy aisladas del interior (Africa central, regiones montañosas de América del Sur y en el Himalaya), el bocio, crecimiento del cuerpo tiroideo producido por una deficiencia de yodo, es una enfermedad endémica. La Organización Mundial de la Salud estima que más de un 5 por ciento de esas poblaciones están afectadas de cretinismo, situación irreversible debida a una deficiencia de yodo en la madre antes o después del embarazo. Se ha calculado que del 5 al 17 por ciento de los hombres, y del 10 al 50 por ciento de las mujeres que habitan en los países de América del Sur, Africa y Asia presentan anemia ferropénica.

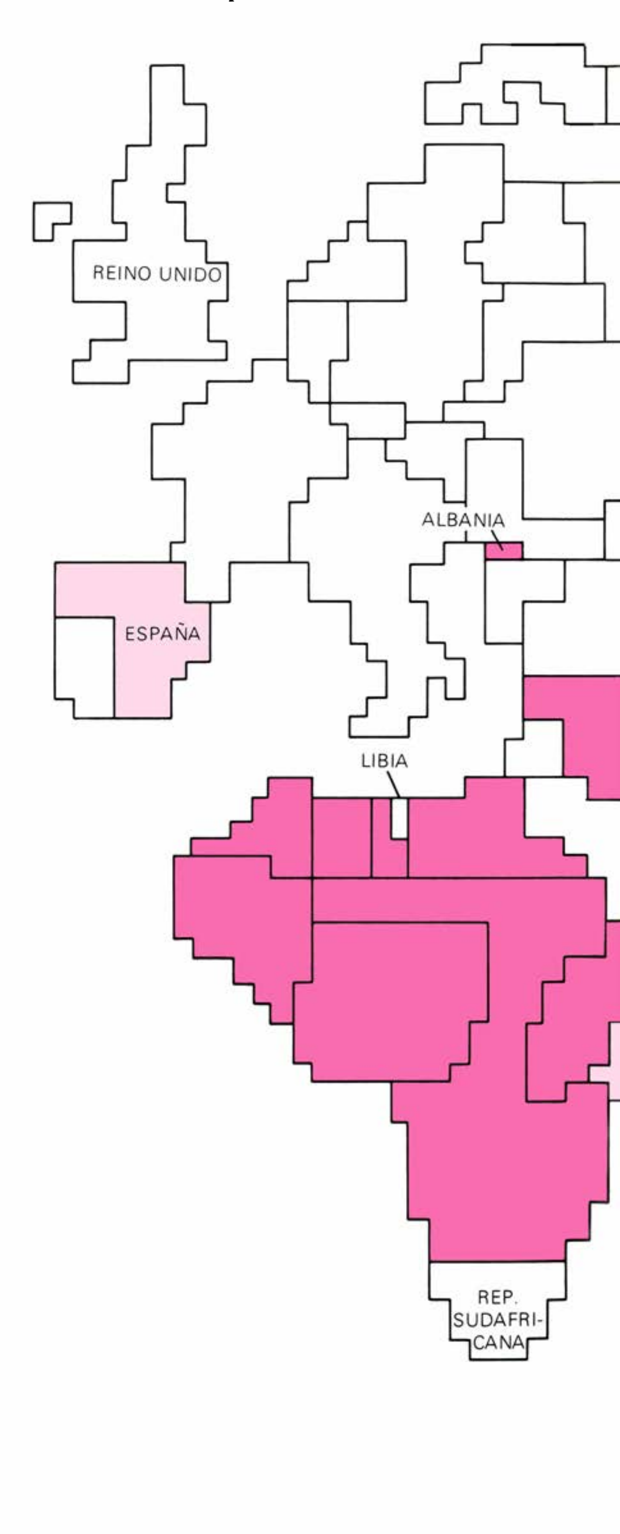
Los seres humanos más indefensos ante los estragos de la desnutrición son los niños, hasta los cinco o seis años, y las mujeres lactantes. Las proteínas son particularmente necesarias durante el desarrollo del feto, para la formación y desarrollo de huesos, músculos y órganos. El hijo de una madre desnutrida tiene más probabilidades de nacer prematuro o enclenque, y su riesgo de morir o de ser víctima de malformaciones neu-



rológicas o mentales irreversibles es mucho mayor. El cerebro inicia su desarrollo *in utero* y lo completa a temprana edad (antes de los dos años). La desnutrición durante este período, en el que se están formando las neuronas y las conexiones neuronales, puede ser causa de retrasos mentales no susceptibles de posterior recuperación. Las consecuencias a largo plazo, no sólo en el orden individual sino también en el social y en el económico, no necesitan ser expuestas.

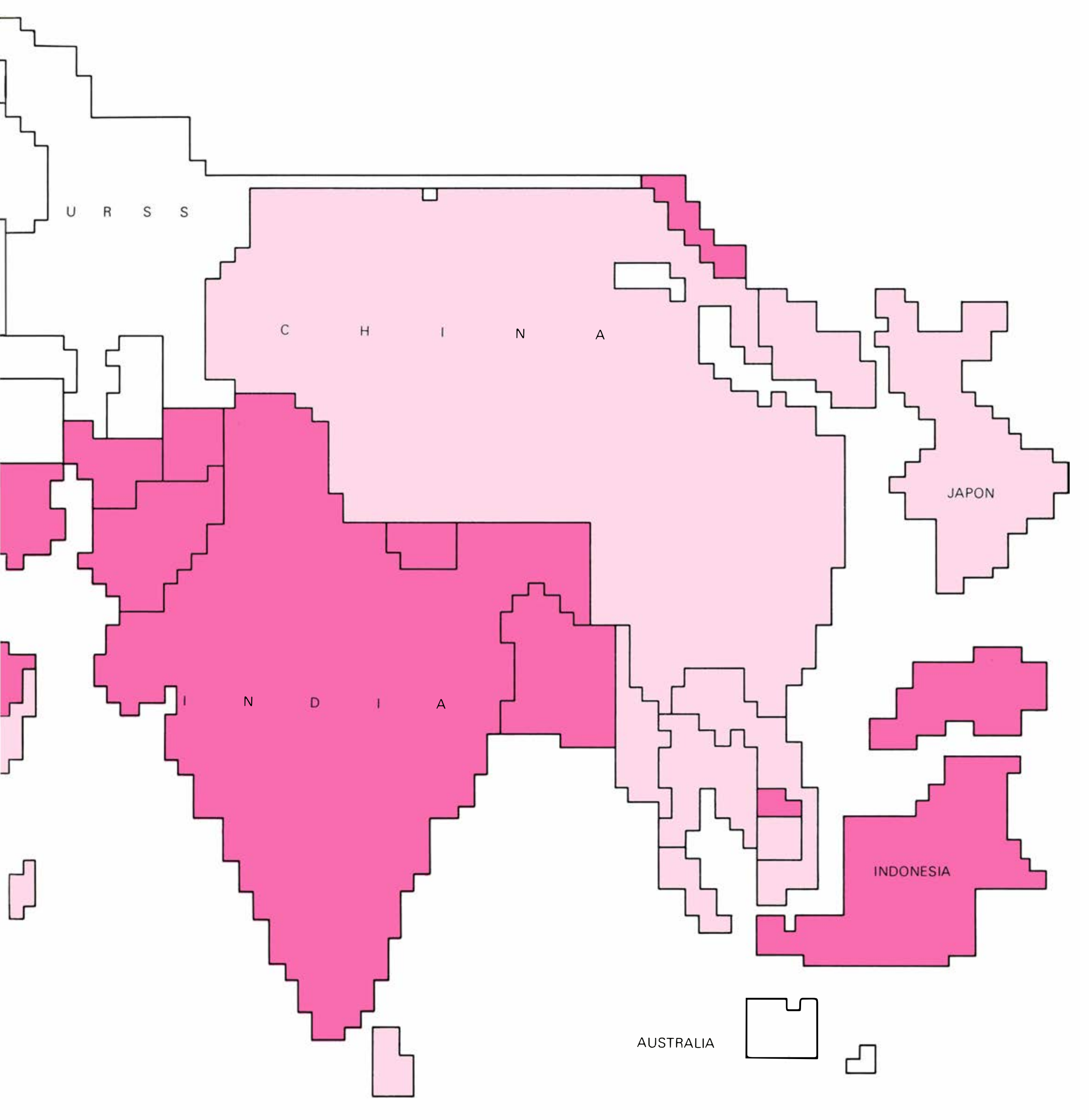
Las exigencias nutritivas del niño durante su crecimiento son proporcionalmente mayores que las de los adultos. Un niño desnutrido está más expuesto a padecer las enfermedades típicas de la infancia, que, a su vez, suponen un incremento en la demanda de reservas nutritivas. Además, algunas sociedades, que todavía sostienen la vieja creencia de que hay que pasar hambre cuando se tiene fiebre, privan a los niños de ali-



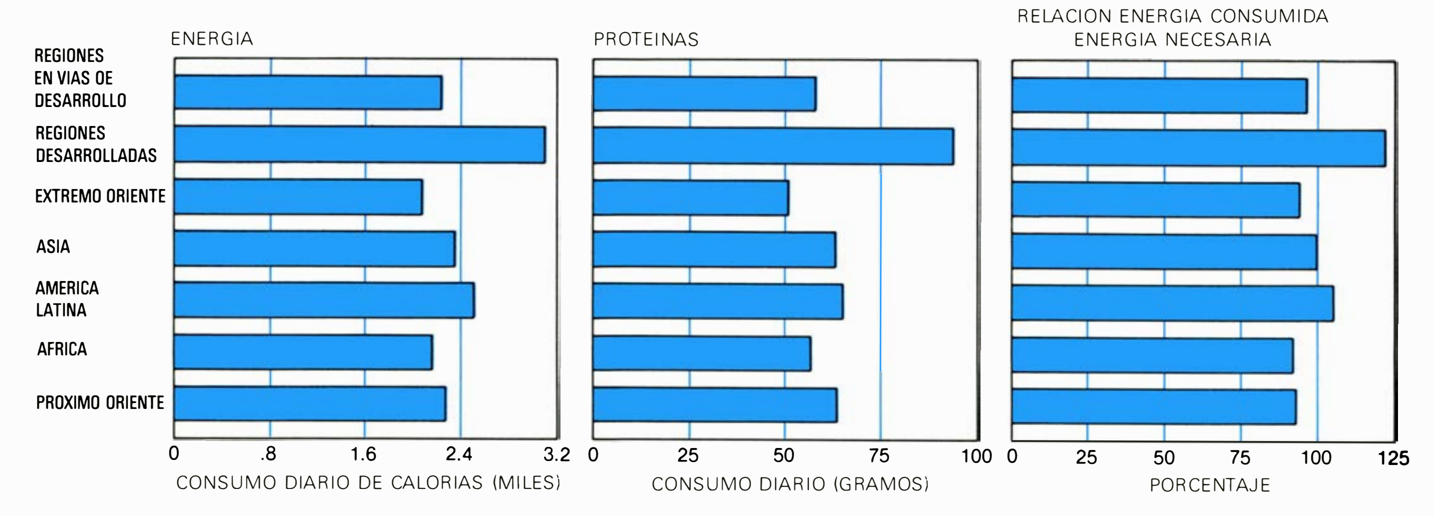


EL NIVEL DE ENERGIA obtenida a partir de la alimentación se indica en este mapa. La superficie de cada país es proporcional a su población; Canadá, por ejemplo, tiene una gran superficie, pero su población es relativamente pequeña, mientras que Japón alberga un elevado número de habitantes en una superficie relativamente reducida. El nivel de energía consumida se indica mediante la presencia o ausencia

mentos nutritivos justamente cuando más los necesitan, provocándoles así un estado grave de desnutrición. El ciclo "desnutrición-infección-grave desnutrición-infección recurrente-posible muerte precoz" es tan común que el índice de mortalidad entre niños de hasta cuatro años, en general, y la mortalidad de niños que no han cumplido el año, en particular, se utilizan como uno de los exponentes del estado de nutrición del conjunto de una población. Las cifras de mortalidad infantil entre niños menores de un año se sitúan alrededor de 250 por 1000 en Zambia y Bolivia, 140 en la India y Pakistán, y 95 en Brasil (pese al creciente producto nacional bruto de este último). En Suecia es de 12 por 1000 y en Estados Unidos la media es de 19 por 1000, pero en los barrios ricos la cifra es parecida a la de Suecia mientras en las zonas pobres de las ciudades del interior se eleva a un 25 por 1000, y llega a alcanzar un 60



de color. En los países representados en color obscuro, el consumo medio de calorías es inferior al necesario (la FAO ha fijado el consumo medio en unas 3000 calorías diarias para el hombre y 2200 para la mujer). El color claro indica que el consumo medio de calorías es el necesario o como máximo, un 10 % inferior al mismo, y en los demás países *(en blanco)* el consumo medio es superior al necesario, como mínimo en un 10 %.



DISPONIBILIDAD DE CALORIAS Y DE PROTEINAS en las regiones desarrolladas, en las regiones en vías de desarrollo y en algunas demarcaciones específicas de éstas. Las cifras representan la dieta media diaria por persona en las distintas regiones y están basadas en datos recogidos por la Fundación Internacional de Socorro a la Infancia. Las cifras relativas a Asia se refieren a las economías con planificación centralizada.

por 1000 entre los miembros de la sociedad más afectados por la pobreza y la marginación: los trabajadores agrícolas temporeros.

Hasta qué punto son exactas las cifras relativas a los países en vías de desarrollo en otra cuestión. En la mayoría de ellos sus servicios estadísticos están tan subdesarrollados como el resto de su economía. Con frecuencia, las muertes –sobre todo las de recién nacidos– no se declaran. Con toda seguridad las cifras son más altas que las indicadas más arriba.

Existen dos métodos distintos para conseguir estimaciones más precisas sobre la situación nutritiva de una zona determinada. Uno de ellos consiste en hacer un "balance de situación alimentario". En el haber se hacen constar la producción agrícola, las reservas y las compras de alimentos, y, en el debe, cantidades dejadas para simiente de la cosecha del año próximo, las destinadas a la alimentación animal y las pérdidas. El saldo reflejará la cantidad de alimentos destinada a la población. De la confrontación de esa cantidad con las tablas de necesidades alimentarias elaboradas por la FAO se desprende la situación de la dieta nacional.

Este método tiene una serie de inconvenientes. Uno de ellos es la dificultad para calcular con cierto grado de precisión la producción agrícola de los países en vías de desarrollo. Los agricultores tienen más de un motivo para infravalorar su cosecha (reducción en los impuestos y en el pago al propietario en concepto de arriendo, que algunas veces llega a fijarse en el 60 % de la cosecha). En segundo lugar, los alimentos incluidos en el balance acostumbran a ser los mismos que ocupan un lugar destacado en los canales de comercialización: cereales, semillas de soja y productos cárnicos. Otros productos –huevos, aves de corral y conejos de granja, frutas y verduras–, indispensables en toda dieta equilibrada pero de consumo familiar o local, son casi imposibles de contabilizar, por lo que no constan en el balance.

Por otro lado, este método es siempre proclive a las sobreestimaciones. Por ejemplo, resulta sumamente difícil calcular las pérdidas de cosechas debidas a la acción de insectos, roedores y microorganismos. Se sabe que, en Estados Unidos, representan casi el 10% en el caso del trigo, y probablemente son más elevadas para otros productos, pese a contarse con una tecnología avanzada. En algunos países tropicales estas pérdidas pueden llegar a alcanzar un 40%. Por todas estas razones, las cifras relativas a la producción de alimentos no constituyen un índice totalmente fidedigno del volumen de alimentos disponibles en la actualidad, ni de los tipos de alimentos que se consumen, y tampoco suelen reflejar los diferentes patrones de consumo de una población. Lo que sí permiten, sin embargo, es la obtención de estimaciones aproximadas de la situación nutritiva de las diferentes regiones *(véase la ilustración de las dos páginas anteriores).*

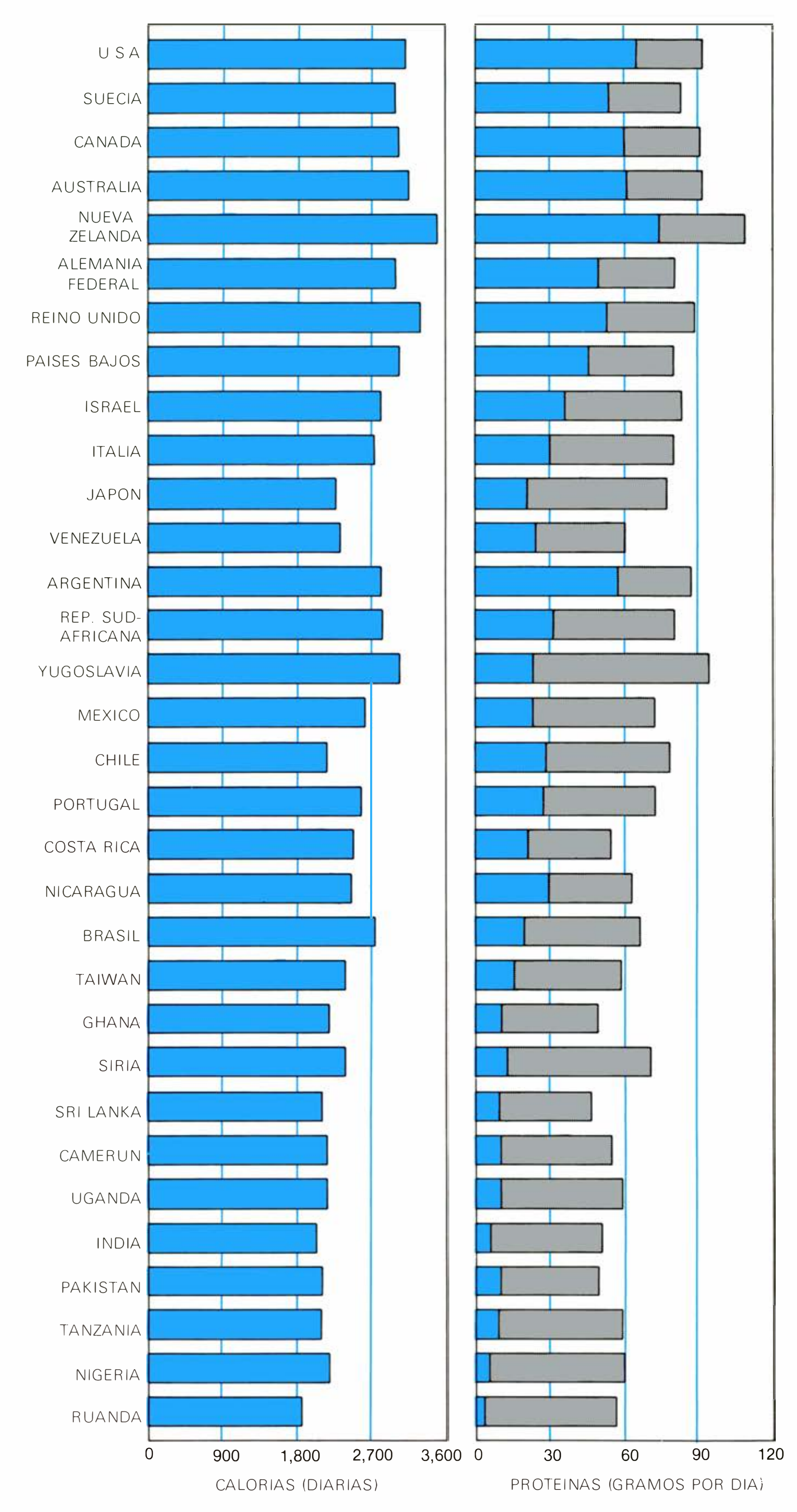
El segundo método para calcular el grado de desnutrición existente en un área determinada se basa en la extrapolación de los datos recogidos en los archivos de los hospitales y en estudios sobre grupos representativos. Las estadísticas referentes a las enfermedades, sin embargo, suelen ser tan poco exactas como las de mortalidad. El criterio de admisión en un hospital por desnutrición varía de un país a otro; los datos relativos a las áreas rurales suelen ser escasos; los pobres, en quienes se da con mayor frecuencia la desnutrición y sus secuelas, constituyen el sector de la población menos dado a recurrir a la asistencia médica, y cuando lo hacen suele ser en una situación ya tan grave –en caso de diarrea infantil o neumonía, por ejemplo– que estos trastornos asociados a la desnutrición acaparan la atención de los médicos, haciéndoles olvidar o ignorar la causa subyacente.

Estimaciones basadas en los resultados de 77 estudios sobre el estado nutritivo de más de 200.000 niños en edad preescolar, realizados en 45 países de Asia, Africa y Latinoamérica, sitúan el número total de niños que presentan algún grado de desnutrición proteínico-calórica en 98,4 millones. Los porcentajes oscilan de 5 a 37 en Latinoamérica, de 7 a 73 en Africa y de 15 a 80 en Asia (exceptuando China). Sin embargo, estos estudios no utilizan procedimientos normalizados. En algunos se llevaron a cabo valoraciones clínicas, mientras que en otros se recurrió a la comparación con tablas biométricas internacionales. En consecuencia, si bien las conclusiones generales de estudios de este tipo son de utilidad, las cifras que proporcionan son, en el mejor de los casos, aproximadas. Para obtener cifras más exactas sobre el grado de hambre y desnutrición existente hoy día en

el mundo, necesitaríamos disponer de estudios a gran escala que comprendieran tanto exámenes clínicos basados en una definición establecida de la desnutrición, como análisis del consumo individual que determinaran la cantidad y los tipos de alimentos consumidos así como su distribución por familia-unidad.

A pesar de que, como ya hemos dicho, las cifras obtenidas por estos métodos son dudosas, la situación que reflejan es clara. En mi opinión, parecería razonable situar la cifra de personas que padecen desnutrición en unos 500 millones, a los que habría que añadir 1000 millones que podrían beneficiarse de una dieta más variada. La mayor parte de dichas personas se encuentra en Asia meridional y en el Africa subsahariana. Los estudios clínicos y hospitalarios llevados a cabo revelan que la desnutrición es siempre más grave entre los niños en edad preescolar y las mujeres embarazadas o lactantes; que es más acusada en las áreas rurales deprimidas y en los suburbios de las grandes ciudades; que el problema es tanto de deficiencia de calorías como de deficiencia de proteínas; que, excepto en áreas en que la población se alimenta básicamente con mandioca o bananas, cuando la cantidad de calorías es suficiente también tiende a serlo la de proteínas; y que, si bien la falta de alimentos es el factor fundamental de la desnutrición, dicha carencia es el resultado de una serie de causas que actúan por separado o en combinación. Un país puede adolecer a un mismo tiempo de una insuficiente producción de alimentos para autoabastecerse y de falta de dinero para comprarlos o para efectuar las inversiones agrícolas necesarias para aumentar su producción; los miembros más pobres de la población pueden carecer de ingresos para comprar alimentos que estén disponibles; y ciertos factores regionales, como las costumbres en la alimentación infantil o las restricciones en los suministros, pueden impedir que los alimentos lleguen a quienes más los necesitan. Basándonos en estas conclusiones, podemos dividir el mundo en cinco grupos de países.

El primer grupo está formado por los países industrializados, en los que existe abundancia de alimentos, pero en los que persisten ciertos focos de pobreza. Sus gobiernos están en situación de poder combatir los problemas de la desnutrición mediante ayudas alimentarias y la puesta en marcha de programas sanita-



NUTRICION Y ECONOMIA NACIONAL: una comparación. Los países están ordenados según su producto nacional bruto per cápita. Las barras de la izquierda indican el consumo medio diario de calorías de la población de cada país. En las barras grises de la derecha, su longitud total representa el consumo medio diario de proteínas por persona, expresado en gramos por día, y la porción en color indica qué cantidad de dicho consumo corresponde a proteínas de origen animal.

rios y de exigencias nutritivas. Los miembros más destacados de este grupo son Estados Unidos, Canadá, los países de la Europa occidental, Japón, Australia, Nueva Zelanda, Hong Kong y Singapur.

El segundo grupo lo forman los países con economías de planificación centralizada, en los que, cualquiera que sea su filosofía económica, el patrón igualitario en la distribución de la renta sumado al control gubernamental sobre la oferta y distribución de alimentos parece que han preservado a sus poblaciones de padecer desnutrición por falta de alimentos en los últimos años. En esta categoría se encuentran la República Popular de China, Taiwan, Corea del Norte y del Sur y los dos Vietnam.

En el tercer grupo están las naciones que forman la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), cuya riqueza global es innegable, pero cuyos patrones de distribución de la renta no aseguran que los pobres se beneficien de esta riqueza.

El cuarto grupo está formado por países de Asia, Próximo Oriente, América Central y del Sur que han alcanzado, o están próximos a alcanzar, una producción de alimentos autosuficiente en relación a su actual nivel de demanda. Esta demanda, sin embargo, se ve insatisfecha

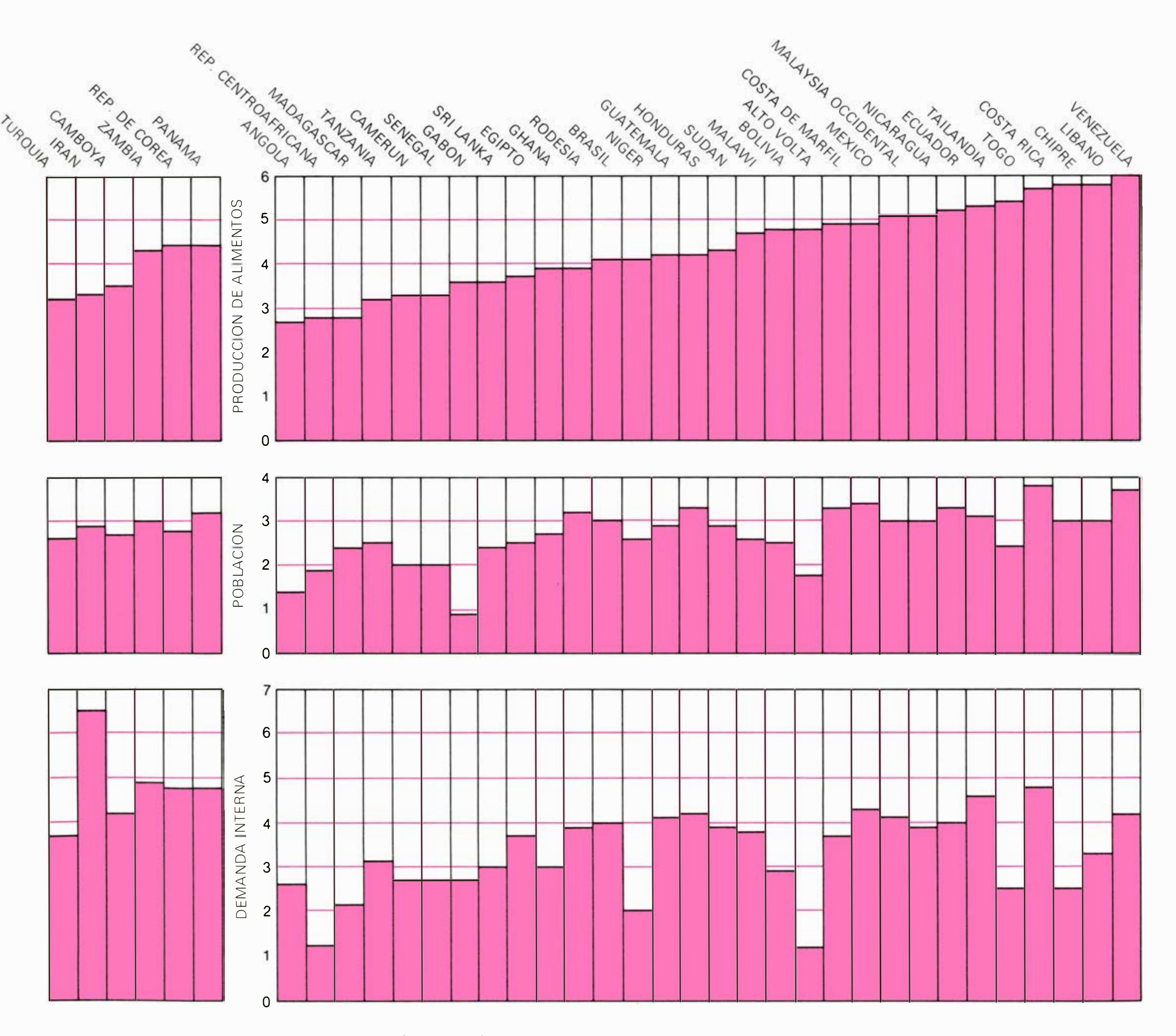


LA EVOLUCION DE LA SITUACION ALIMENTARIA en 71 países en vías de desarrollo se pone de manifiesto en la comparación de las tres secuencias de este gráfico. En la parte superior, se representa la variación media anual en la producción de alimentos en cada país (positiva en todos, excepto en Argelia); en la central, se representa el crecimiento de la población, y, en la inferior, el cambio en la demanda interna de alimentos, magnitud ésta calculada no sólo en función del crecimiento demográfico, sino también en función del nivel económico de los habitantes y de los cambios en sus preferencias alimentarias (verbigracia, mayor o menor tendencia a comer carne). Cada columna

debido a una distribución desigual de la renta, lo que se traduce en desnutrición en amplios sectores de la población. Brasil, por ejemplo, tiene la mayor tasa de crecimiento económico del mundo pero la desnutrición es tremenda en el nordeste y está ampliamente extendida en las *favelas* que rodean las grandes ciudades.

El quinto y último grupo comprende las naciones que la ONU califica como "las menos desarrolladas". Sus recursos económicos son demasiado pobres para mantener a los individuos de los grupos de rentas más bajas. Muchos de estos países están expuestos a padecer los efectos de sequías, inundaciones o ciclones; algunos sufren los estragos de la guerra. La totalidad de las veinticinco naciones de este grupo es pobre en recursos económicos y, asimismo, en capital de inversión.

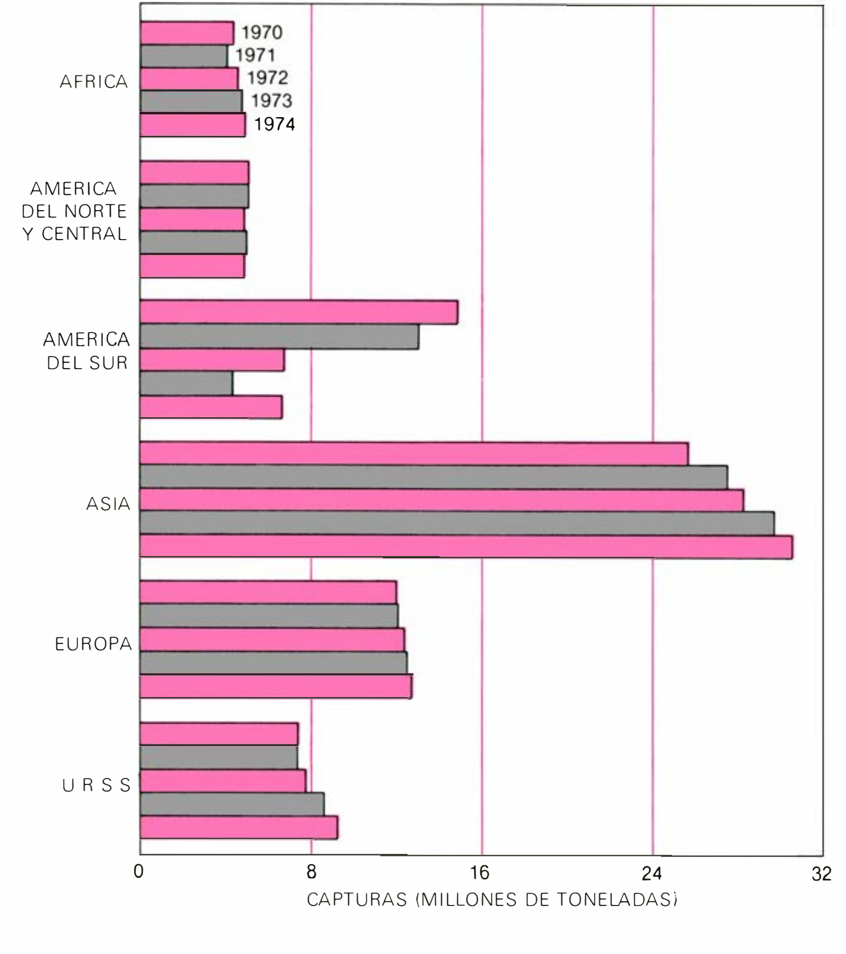
Desde la perspectiva actual, parece increíble que en 1972 se pensara que, por primera vez, el mundo estaba a punto de poder disponer de una oferta abundante de alimentos. Las nuevas variedades de trigo de la "revolución verde" habían arraigado en México y en el noroeste de la India, y las nuevas variedades de arroz desarrolladas en Filipinas permitían esperar un alto rendimiento en un cultivo básico para los pueblos del sud-

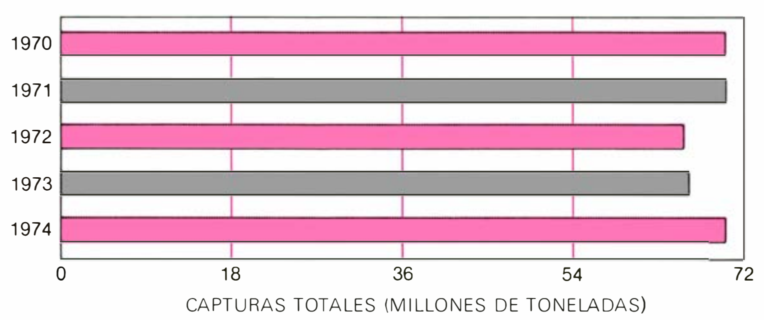


expresa el porcentaje medio anual de variación en el período 1953-1971. En el grupo de 24 naciones que empieza en Argelia y termina en Filipinas, el aumento de la producción de alimentos es inferior al crecimiento de la población. En las 17 naciones siguientes (desde Argentina hasta Panamá), dicho aumento supera al de la población pero es inferior al experimentado por la demanda interna. En el último grupo, formado por 30 naciones (de Angola a Venezuela), el aumento de la producción de alimentos es bastante superior tanto en lo que respecta al de la población como al de la demanda interna. Estos datos fueron suministrados por el Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas.

este asiático. El volumen de pesca capturada crecía todavía a un ritmo espectacular (se había pasado de 21 millones de toneladas en 1950 a 70 millones en 1970, crecimiento ininterrumpido de un 5 % anual aproximadamente, superior al crecimiento de la población mundial, que era del 2 %). La producción mundial de cereales estaba aumentando a un promedio del 2,8 % anual, y se disponía de sustanciales reservas en forma de excedentes de los principales países exportadores, así como de tierras de cultivo mantenidas sin explotar en Estados Unidos, de acuerdo con el programa para la creación de un "banco de tierras". Las perspectivas eran tan halagüeñas que la FAO predijo, en 1969, que los problemas alimentarios del futuro vendrían más por el lado del exceso que por el de la falta.

Si bien dos repentinos y casi simultáneos desastres en las cosechas de varias zonas y la brusca subida en los precios del petróleo fueron la causa inmediata de la crisis de alimentos de 1972-1974, luego se ha puesto en evidencia que hay cuatro factores a largo plazo, que se habían venido desarrollando desde hacía tiempo, y que han estado siempre a punto de alterar la esperanzadora situación. (El primer cambio de la situación a corto plazo, una reducción de las cosechas en varias partes del mundo debida a las desfavorables situaciones climáticas de 1972, dio origen al segundo: la compra masiva de cereales por parte de la URSS que acabó con las reservas norteamericanas y causó el brusco aumento de los precios internacionales del trigo, el maíz y el arroz. Más aún, el incremento de los precios del petróleo puso la revolución verde definitivamente fuera del alcance de países como la India, Pakistán y Bangladesh, pobres en petróleo y otros recursos, y que, con los métodos agrícolas tradicionales ya han llegado al máximo en su capacidad para incrementar los rendimientos. El aumento de los precios del petróleo también trastornó las economías de los países ricos, por lo que redujeron su contribución a la ayuda internacional.)



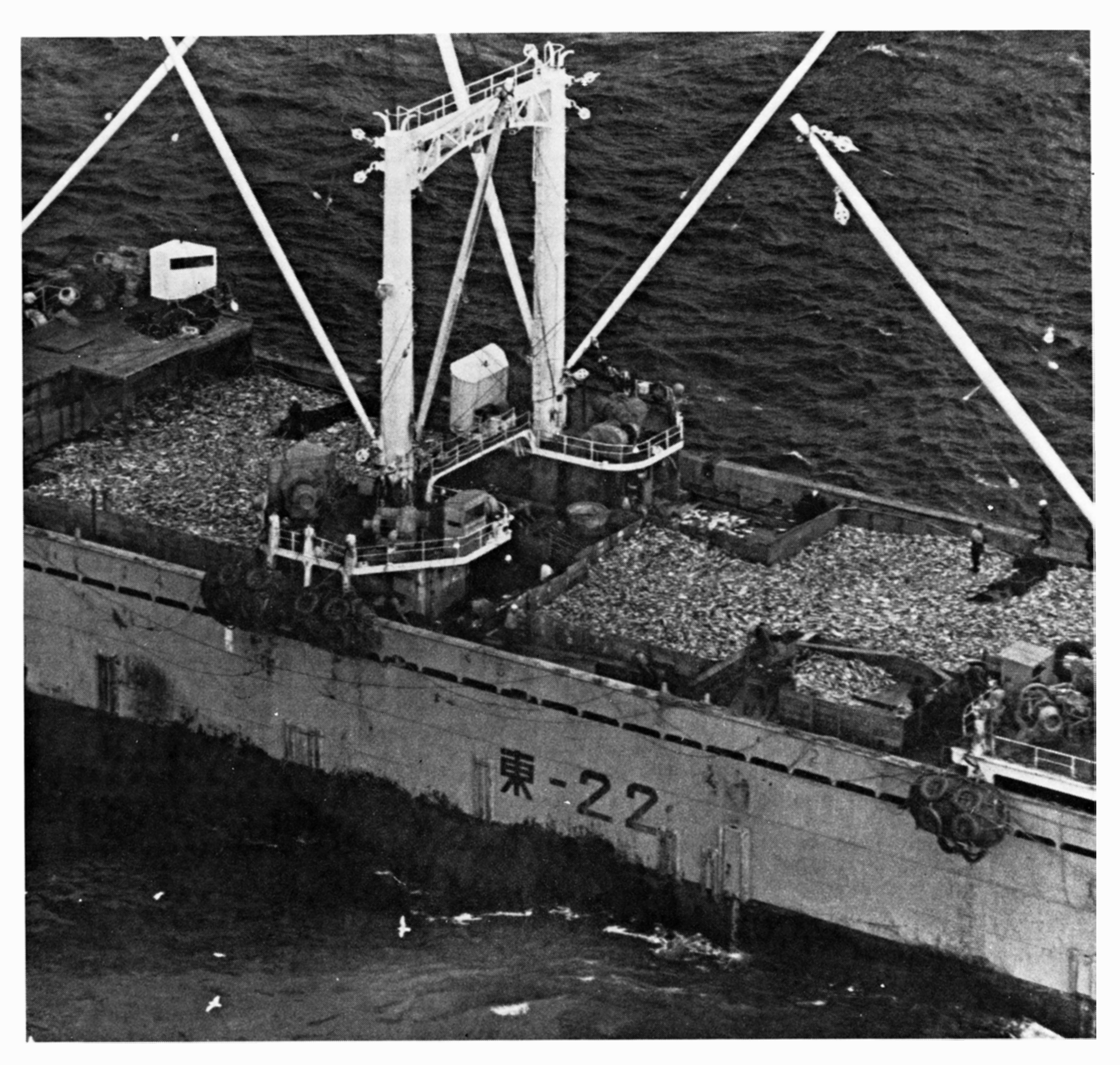


EL VOLUMEN DE LA PESCA MUNDIAL parece haberse estabilizado en torno al nivel de 1970, tras las bajas de 1972-1973, debido a la disminución de las capturas en América del Sur. En muchas de las otras regiones, aquéllas han experimentado un ligero aumento. Datos de la FAO.

Pese a que la situación es en estos momentos menos angustiosa que en 1974, se ha hecho más precaria debido a los factores a largo plazo. El primero de ellos es el crecimiento de la población mundial, de 80 millones de personas por año, lo que equivale, cada 30 meses, a la actual población de Estados Unidos. Y lo peor es que la población está creciendo más rápidamente en las zonas que padecen mayores problemas de nutrición.

Al considerar los efectos del aumento de la población hay que tener presente, sin embargo, el fenómeno conocido como transición demográfica. Consiste en el proceso mediante el cual las sociedades pasan de un estadio de altas tasas de natalidad y mortalidad a otro de bajas tasas. Generalmente, el descenso de las tasas de mortalidad precede al de las tasas de natalidad en un intervalo que va de una a tres generaciones. En ambos extremos de la transición, la población está estabilizada. Los países desarrollados ya han efectuado esta transición o están a punto de completarla; los países en vías de desarrollo la están efectuando, pero cada uno se halla en una etapa distinta.

Junto a la desigualdad en el crecimiento de la población, como factor a largo plazo que afecta a la oferta de alimentos, se da una desigualdad incluso mayor en los modos de producción y utilización de estos alimentos. Parece históricamente inevitable que cuando un pueblo o una sociedad se hacen más ricos, su consumo de productos cárnicos aumente. Esto da lugar a que muchos de los alimentos básicos (cereales, legumbres, e incluso pescado), que podrían servir directamente para la alimentación humana, se em-



LA INDUSTRIA PESQUERA MODERNA está representada por los grandes buques-factoría, como el *Soyu Maru*, de la flota japonesa. Se trata de un buque nodriza con varios barcos rastreadores que industrializa sus capturas en alta mar. En cubierta, lenguados y meros.

plean, en cambio, como pienso para animales domésticos (ganado, aves, etc.). El beneficio nutritivo que se obtiene de la conversión de alimento vegetal en alimento animal varía según el producto animal de que se trate, pero en ningún caso supera la cota máxima del 25 % que corresponde a la leche y los huevos. El resultado de esta tendencia es que los países ricos consumen mucho más alimento per cápita que los pobres. Por ejemplo, se ha calculado que en China cada persona está suficientemente alimentada con unos 200 kilos de cereales por año: 155 kilos son consumidos directamente en forma de harinas y derivados y 45 lo son por los animales domésticos. En Estados Unidos, el individuo medio consume más de 900 kilos de cereales por año: unos 70 se comen directamente (en forma de pan, pastas, harinas para el desayuno, etc.) y el resto, más del 90 % del total, se destina al pienso animal.

El tercer factor desencadenante de presiones sobre la oferta mundial de alimentos ha sido la disminución en el rendimiento de la industria pesquera, importante fuente de proteínas para muchas naciones pobres. En 1970 y 1971 el total de capturas permanecía estabilizado en torno a los 70 millones de toneladas. En 1972, decayó bruscamente hasta situarse por debajo de los 55 millones. Las razones de este descenso hay que buscarlas en la intensidad de una pesca indiscriminada y en la contaminación.

Finalmente, se ha puesto en evidencia que el "milagro" de la revolución verde requiere más tiempo, más trabajo y más capital de lo que se pensó en pleno entusiasmo inicial. No me extenderé sobre este punto, ya que la revolución verde es el tema de otros artículos de este mismo número. Resumiendo, la situación actual es precaria pero manejable, salvo alguna hipotética catástrofe como, por ejemplo, la pérdida masiva de las cose-

chas de Estados Unidos, considerados generalmente el granero del mundo.

¿Qué pasará en el futuro? Veamos, en primer lugar, tres pasos que podrían darse en la lucha contra el hambre. Su objetivo común es descubrir y atacar las hambres incipientes en el primer estadio de su desarrollo.

El primero sería el establecimiento de un sistema de alerta. Se podría recurrir a la utilización de satélites climatológicos, a los indicadores económicos (como el movimiento y las reservas de alimentos de una región) e indicadores sanitarios. (Uno de los indicadores sanitarios más sensibles es el gráfico de las curvas de peso y altura de los niños de los sectores económicos más vulnerables de una comunidad.)

En segundo lugar, debería crearse un organismo internacional, de pequeña entidad pero de carácter permanente, que tendría que estar al corriente de la información referida a las distintas regiones, y advertir a éstas al detectar cualquier signo de emergencia inmediata. Asimismo, debería publicar manuales sobre cómo actuar ante las catástrofes y las epidemias de hambre; organizar cursillos periódicos destinados a personas clave de cada nación; elaborar planes de contingencia (detallando probables necesidades y suministradores de alimentos, medicinas, medios de transporte y personal) y estudiar cuestiones tales como la formación de reservas de provisiones esenciales y la creación de sistemas de distribución alternativos. En caso de emergencia, el organismo debería estar en condiciones de prestar su ayuda al director de los servicios de socorro del país en cuestión.

En tercer y último lugar, sería necesario disponer de una reserva suficiente de cereales, estratégicamente distribuida por todo el mundo. Podría servir de fuente suplementaria de aprovisionamiento para los países próximos a las zonas afectadas por una catástrofe, mientras los suministros habituales destinados a ellos cambiarán su rumbo hacia dichas zonas. Sin duda, este sistema no podría evitar la epidemia de hambre, pero impediría que se convirtiera en una catástrofe mayor.

Podrían emprenderse otras varias acciones en esta lucha contra la desnutrición. En los próximos años será necesario continuar proporcionando ayuda alimentaria a algunas zonas. Los países menos desarrollados requerirán, durante algunos años, una asistencia especial en la elaboración de nuevos sistemas de distribución de alimentos y de programas nutritivos. También habrá que ayudarles a desarrollar unos métodos que les permitan aumentar su capacidad de almacenaje de alimentos, así como distribuirlos en las áreas que se encuentren en situaciones de emergencia.

La erradicación de ciertas enfermedades causadas por la desnutrición puede conseguirse mediante campañas sencillas y poco costosas. La ceguera provocada por deficiencia de vitamina A, por ejemplo, puede evitarse suministrando dos inyecciones al año de 100.000 unidades de dicha vitamina, que suponen un coste de pocos centavos de dólar por persona. El bocio puede prevenirse por medio de la yodización de la sal, también con un coste ínfimo.

A medio plazo (en los próximos 15 años, más o menos), el objetivo debe ser conseguir que las naciones en vías de desarrollo se conviertan en independientes en materia de abastecimiento de alimentos. La pesca parece haberse estabilizado en los niveles de 1970. Debería reducirse la producción de alimentos de origen animal, a la que se destinan cereales necesarios para el hombre. (La cría de animales que utilizan tierras incultivables y forrajes o frutos no comestibles por el hombre, es otra cuestión.) El desarrollo de nuevos alimentos es algo que aún pertenece al futuro. El único recurso seguro es la revolución verde, que todavía permitirá duplicar o triplicar el rendimiento de algunas áreas.

Por consiguiente, es de suma importancia empezar inmediatamente la construcción de industrias de fertilizantes, con preferencia en las propias zonas productoras de materias primas (los yacimientos petrolíferos del golfo Pérsico y de Nigeria, por ejemplo) o en las regiones en las que se necesitan. Esta tarea tendría que llevarse a cabo contando con la asistencia internacional y con carburante vendido a precios de concesión por la OPEP.

Otra acción que se debe acometer es ayudar a los países con déficit de alimentos a crear servicios de investigación y extensión agraria, con el fin de adaptar la revolución verde a una agricultura tropical de utilización intensiva de mano de obra, así como a orientar a los pequeños agricultores para que puedan obtener un rendimiento cada vez mayor de una explotación diversificada, compuesta por animales de granja, frutas y verduras, de tal modo que no tengan que depender de una buena cosecha de un único producto para conseguir unos ingresos suficientes. También puede ayudárseles en el desarrollo de sistemas para la protección de los productos cosechados y en el establecimiento de una industria alimentaria autóctona para la transformación, conserva, envasado y distribución de los alimentos. También habría que crear un sistema de créditos internacionales del que se beneficiaran los pequeños agricultores y empresarios, y que promoviera una distribución más equitativa de la renta y de las oportunidades. Por último, sería conveniente la creación de un servicio internacional de previsión meteorológica para evitar que las pérdidas de cosechas sobrevinieran por sorpresa.

La puesta en marcha de estas acciones ocupará suficientemente los próximos 25 años. Si la población mundial crece durante este período hasta alcanzar los 6000-7000 millones de habitantes, como parece acertado suponer, será preciso disponer de nuevas fuentes de alimentos que se encuentren a punto de ser consumidos y no en fase de investigación. Por desgracia, las naciones que necesitarán con mayor urgencia esos nuevos alimentos no tienen ni los recursos financieros ni los conocimientos tecnológicos indispensables para realizar la investigación pertinente, y las naciones que cuentan con estos medios no se han dado cuenta, hasta ahora, de su urgencia. Los objetivos de este tipo de investigación deberían ser, entre otros, el desarrollo intensivo de la acuacultura, la obtención por métodos genéticos de nuevas variedades o razas de animales (como, por ejemplo, el cruce de búfalo y vaca) y de tipos de ganado que puedan sacar un mayor provecho del forraje, la domesticación de algunos animales salvajes, la utilización de ciertos microorganismos unicelulares como alimento y la síntesis directa de productos alimenticios a partir del petróleo. El trabajo en todos estos campos debería estar ya en marcha.

Resumiendo, sabemos qué es la desnutrición, aunque no podemos precisar cuántos seres humanos la padecen. También sabemos por qué existe. Los economistas aseguran, con frecuencia, que el aumento en la producción de alimentos solucionará el problema. Los sociólogos, por su parte, sostienen que lo que hay que conseguir es una distribución más equitativa de ellos. Los datos concretos ponen de manifiesto que debemos y podemos hacer ambas cosas.



Las necesidades de la nutrición humana

Los factores ambientales, fisiológicos y dietéticos interaccionan entre sí para establecer las necesidades nutritivas de los individuos y las poblaciones. Sólo se podrán dar aproximaciones estadísticas de las raciones energéticas y nutritivas recomendadas

Nevin S. Scrimshaw y Vernon R. Young

Los seres humanos carecen de la maquinaria bioquímica adecuada para sintetizar una amplia diversidad de compuestos de carbono que son necesarios para la formación y mantenimiento de los tejidos y para poder efectuar las reacciones metabólicas que permiten y sostienen la vida. Estos compuestos, que todas las células y organismos animales deben obtener preformados del medio que les rodea, junto con un cierto número de elementos minerales, reciben el nombre de nutrientes esenciales. Durante los últimos millones de años de evolución, la lucha competitiva para conseguirlos en cantidades suficientes ha favorecido la aparición y el predominio de la especie humana, y ha influido profundamente en la promoción social y cultural del hombre. Al mismo tiempo, la incapacidad de éste para producir los compuestos nutritivos esenciales lo ha expuesto a enfermedades carenciales que continúan amenazando hoy a centenares de millones de personas en el mundo.

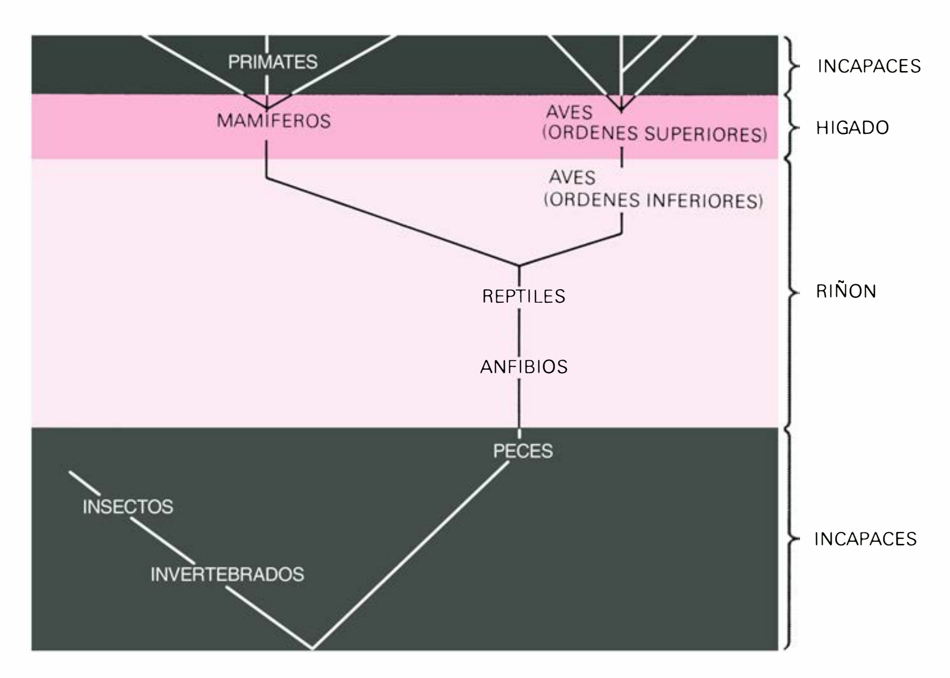
¿Cómo han ido evolucionando las diversas necesidades alimentarias de los animales y del propio hombre? Hace unos 30 años, se obtuvo una pista interesante a raíz de los trabajos pioneros de George W. Beadle y Edward L. Tatum, de la Universidad de Stanford, efectuados con el moho *Neurospora;* demostraron que algunas mutaciones de los genes podían originar alteraciones en las necesidades de las células y de los organismos en cuanto al aporte externo de compuestos nutritivos. Como todos los demás vegetales, la *Neurospora* no necesita normalmente de vitaminas o aminoácidos captados del exterior para su crecimiento y metabolismo, ya que produce los que necesita. Sin embargo, cuando Beadle y Tatum expusieron estos mohos a los rayos X, las mutaciones resultantes de su acción produjeron la pérdida de la capacidad de las células para la síntesis de vitaminas como la tiamina, la piridoxina y el ácido paraaminobenzoico y de los aminoácidos histidina, lisina y triptófano.

Los biólogos que estudian los procesos evolutivos creen en la actualidad que en el pasado remoto existió toda una serie de procesos de mutación, similares a éstos, que originaron las deficiencias en la capacidad de síntesis de nutrientes por parte de los animales. Las formas más primitivas de vida parecen haber sido organismos muy simples, parecidos a las bacterias, capaces de sintetizar todos los compuestos que necesitaban a partir de sales, nitrógeno, compuestos simples de carbono y, también de agua. Esta capacidad implicaba el almacenamiento de una enorme cantidad de información genética, de modo que las células que podían reducir el coste metabólico de la replicación y conservación de un número de genes tan grande obtenían una ventaja selectiva. Con la selección natural en favor de las mutaciones que eliminaban la síntesis enzimática "innecesaria" de nutrientes directamente extraíbles del medio, las formas primitivas de vida evolucionaron y finalmente llegaron a dar las células animales.

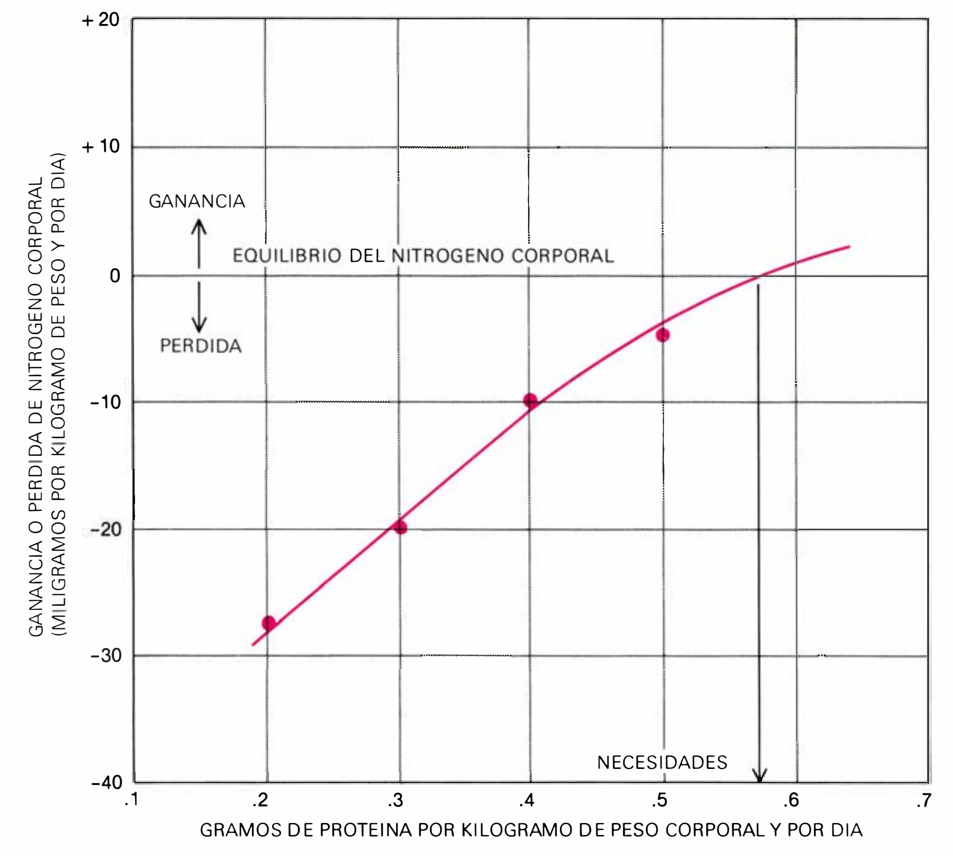
Cuando los primeros animales unicelulares aparecieron hace unos mil millones de años, carecían de varias de las vías biosintéticas presentes en las células vegetales, especialmente en lo referente a la vía fotosintética; ésta permite a las plantas convertir la energía del sol en compuestos ricos en energía que impulsen el metabolismo celular. Todas las especies animales originadas a partir de estos antepasados comunes tenían deficiencias similares, pero sobrevivieron tomando de fuentes externas la energía y los nutrientes necesarios. Por ejemplo, las plantas han conservado la capacidad de sintetizar los 20 aminoácidos que se encuentran en sus proteínas a partir de compuestos simples de carbono y nitrógeno, mientras que los animales dependen de su dieta para recabar casi la mitad de dichos aminoácidos.

Un desarrollo evolutivo muy reciente e interesante, y de gran significación para la nutrición, es la incapacidad de algunos animales para sintetizar el ácido ascórbico (vitamina C). I. B. Chatterjee, del University College of Science de la India, ha calculado que hace unos 350 millones de años apareció la capacidad de síntesis de dicha vitamina en los

UNA MUJER GESTANTE ESQUIMAL, perteneciente a la tribu caribú, mastica huesos de caribú con el fin de extraer de los mismos hasta las últimas porciones de la médula, rica en nutrientes Esta fotografía fue realizada por Fritz Goro en 1955, en el noroeste de Canadá. Dispersos por la desnuda taigá situada al sur del círculo ártico, pequeños grupos de estos esquimales continentales centran su subsistencia exclusivamente en el aprovechamiento de los caribúes; de ellos se sirven para su alimento y vestido, utilizando sus huesos para la fabricación de puntas de proyectiles y otros instrumentos y utensilios. Antaño abundaban estos animales, pero a finales de la década de los 50 alteraron su ruta de migración provocando con ello una catastrófica hambrina que se cernió sobre los esquimales caribú. En 1960 el gobierno canadiense estableció un puente aéreo de transporte, gracias al cual los supervivientes pasaron a las zonas costeras, en donde se mezclaron con otros esquimales y en donde trabajaron en una mina de níquel. Los esquimales caribú ya no existen como población diferenciada, víctimas de la dieta, limitada exclusivamente a una fuente única de alimento.



LA CAPACIDAD DE LOS ANIMALES PARA SINTETIZAR LA VITAMINA C y el tipo de célula que efectúa dicha síntesis han ido variando a lo largo del proceso evolutivo. Hace unos 25 millones de años, una mutación ocurrida en un antepasado de los primates (por lo tanto, del hombre) y de otros mamíferos, trajo como consecuencia la pérdida del enzima terminal de la vía biosintética de la vitamina C. Por esta razón, los primates, los cobayas, los murciélagos y algunas aves necesitan una fuente externa de vitamina C, para evitar el desarrollo de las enfermedades carenciales.

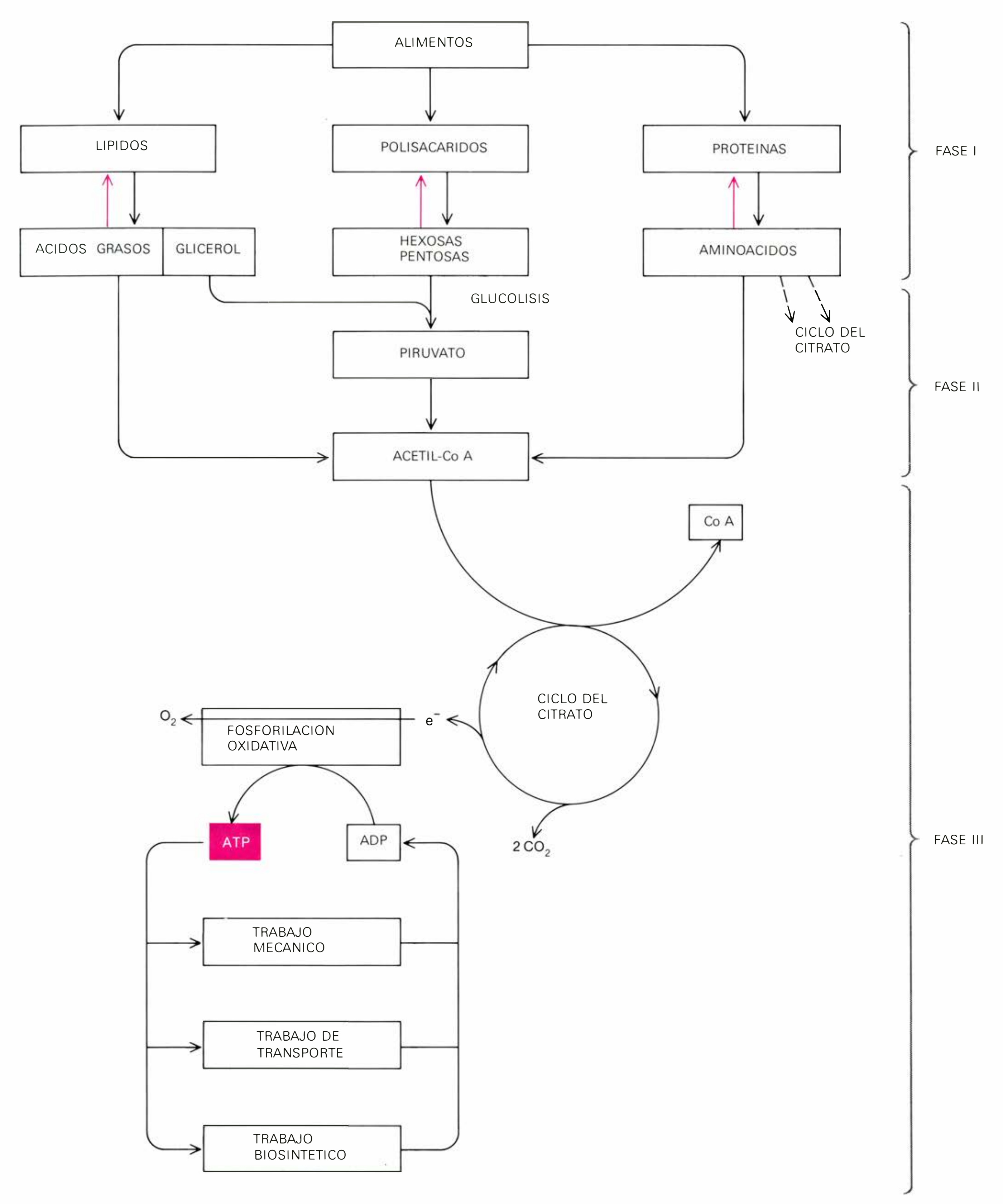


LAS NECESIDADES PROTEICAS MINIMAS, para una población de hombres jóvenes privilegiados, se determinaron en el laboratorio en que trabajan los autores mediante la técnica del equilibrio metabólico. Los sujetos del experimento, que eran estudiantes del Instituto de Tecnología de Massachusetts, fueron observados durante períodos de 15 días, mientras se les sometía a diversas dietas de proteínas (nitrógeno) en cantidades variables. Estos individuos recibieron una dieta constante, en la que todo el aporte proteico consistía en huevos completos en polvo. Los valores del equilibrio nitrogenado (la entrada de nitrógeno a través de la ingestión, menos la cantidad excretada constituye el equilibrio nitrogenado) se midieron en cada uno de los siete sujetos y en los distintos niveles de alimentación proteica; los resultados citados son las medias estadísticas individuales.

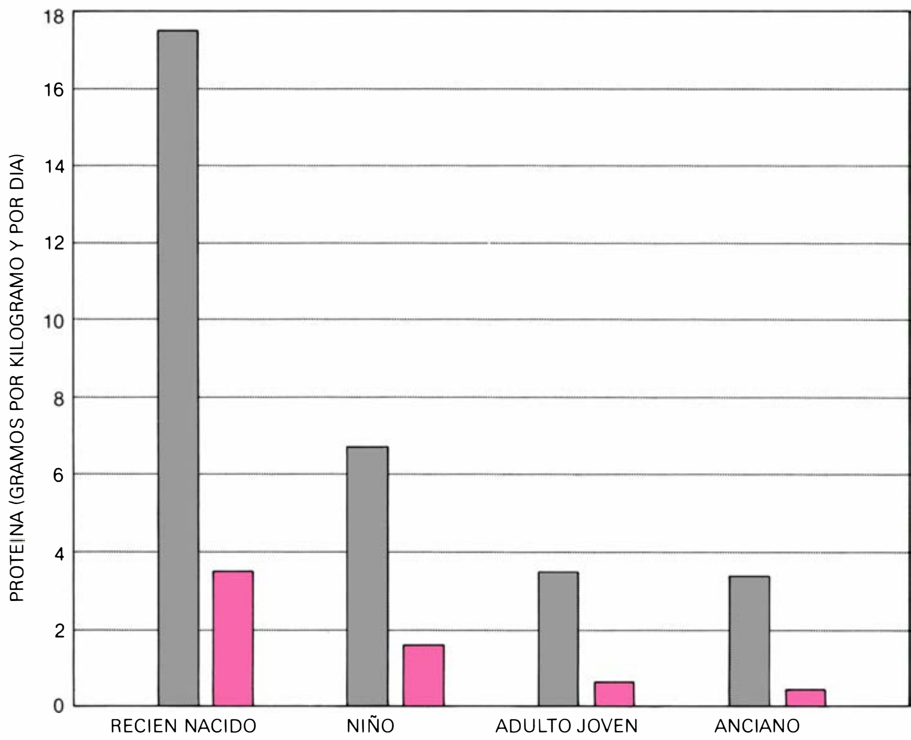
anfibios, pero que una mutación génica producida hace unos 25 millones de años en un antepasado común del hombre y de otros primates condujo a la pérdida del enzima L-gulono-oxidasa, que cataliza el paso terminal en la conversión de glucosa a ácido ascórbico. Linus Pauling ha indicado que tal vez la pérdida de esta vía metabólica resultaba selectivamente ventajosa en el sentido de que salvaguardaba la utilización de glucosa para la obtención de energía por parte del organismo. En cualquier caso, la mutación no resultó letal gracias a que el compuesto ausente se encontraba en el alimento ingerido por los animales mutantes.

La necesidad de obtener un aporte adecuado de los nutrientes esenciales con la dieta no sólo forma parte de la evolución biológica del hombre sino que ha configurado también su evolución social. Se ha indicado que la migración de los grupos humanos hacia las regiones septentrionales de la Tierra hubo de realizarse con lentitud por la cantidad limitada de ácido ascórbico que se podía hallar en los alimentos disponibles en dichas regiones, durante los largos meses invernales. Lo que es más, la dependencia del hombre con respecto a un aporte adecuado de nutrientes significó que tuvo que ser, en un principio, cazador y recolector, lo que establecía unos ciertos límites a su desarrollo cultural. En la fase siguiente de agricultor de cereales y otras plantas, y de criador de un número limitado de especies animales ya domesticadas, el hombre pudo organizar un modo de vida estable, asegurándose una disponsabilidad de nutrientes esenciales suficiente sin tener que rastrear grandes extensiones en busca de comida. Este progreso le permitía ahorrar sus energías para dedicarlas a nuevos tipos de actividades sociales, económicas y artísticas.

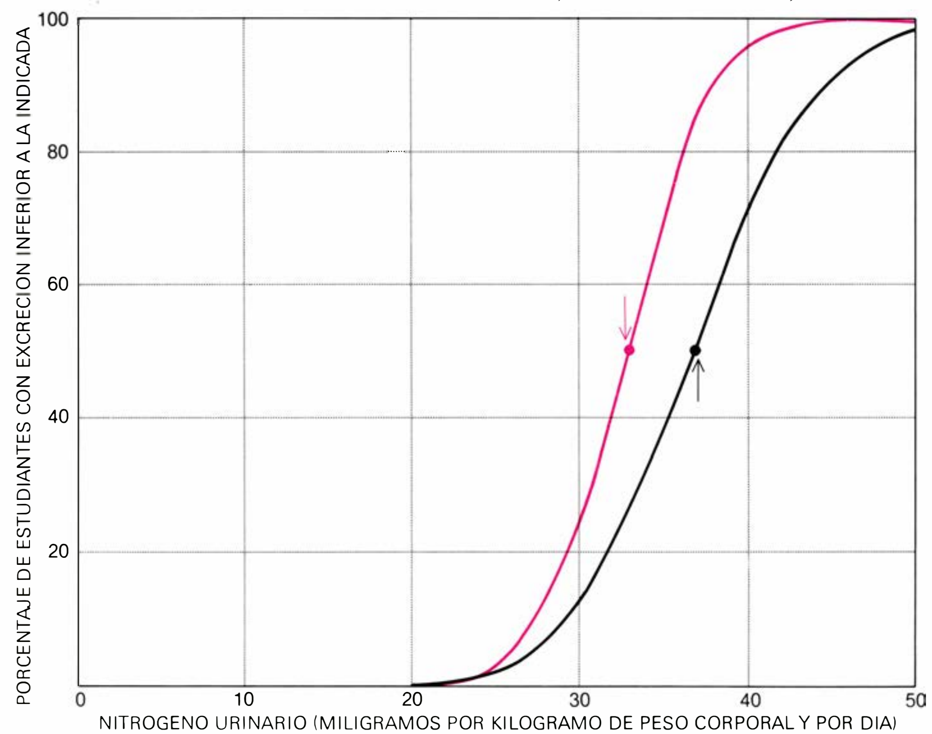
En la actualidad, se sabe que al menos 45, y tal vez hasta 50, componentes y elementos de la dieta son materiales esenciales para que una persona pueda desarrollar una vida plena y saludable. Sin embargo, los alimentos de origen vegetal y animal no pueden utilizarse directamente por las células de los tejidos. Los materiales nutritivos contenidos en los alimentos se liberan a través de la digestión, se absorben en el intestino y se transportan hasta las células por la sangre. Siempre que la dieta proporcione, en conjunto, todos los nutrientes esenciales, las células y tejidos del cuerpo podrán sintetizar los materiales necesarios para vivir.



EL METABOLISMO DE LOS NUTRIENTES dotados de energía en el hombre se realiza mediante tres fases principales. En la primera, se degradan las macromoléculas nutritivas del alimento hasta convertirlas en sus principales elementos constituyentes mediante la acción de los enzimas digestivos presentes en el tubo digestivo. En la segunda etapa, los numerosos y distintos productos resultantes de la primera fase son absorbidos por el intestino y son transportados por la sangre hasta las células de los tejidos. Una vez en los tejidos, estos materiales pueden incorporarse a las moléculas del interior de la célula mediante los procesos anabólicos *(flechas de color),* o bien se pueden convertir en un pequeño número de materiales intermediarios mediante las vías catabólicas, que desempeñan un papel central en el metabolismo. La glucosa, el glicerol, los ácidos grasos y muchos aminoácidos se transforman en una especie molecular de dos carbonos: el grupo acetilo que va unido a la molécula transportadora coenzima A (CoA). En la tercera etapa, que se encuentra localizada en las mitocondrias celulares, el coenzima A transporta las unidades de acetato al ciclo del citrato, mediante el cual se oxidan completamente hasta dar anhídrido carbónico, liberando al mismo tiempo cuatro pares de electrones. El adenosín-trifosfato (ATP), compuesto rico en energía, se va sintetizando aprovechando la energía desprendida en la caída de electrones a través de una cadena de transporte de electrones, llegando al final a acoplarse al oxígeno, el aceptor final de electrones. La oxidación de una sola molécula de glucosa puede dar lugar a la formación de 36 moléculas de ATP. Una vez sintetizado el adenosín-trifosfato, la célula dispone de la energía necesaria para sus numerosas actividades biosintéticas y fisiológicas.



LA BAJADA EN LAS NECESIDADES DE PROTEINAS EN LA DIETA por unidad de peso corporal ***(color)*** **corre paralela a la velocidad de síntesis total de proteína durante las diferentes etapas de la vida** ***(gris).*** **Las primeras fases de desarrollo rápido en los niños necesitan de unos niveles elevados de ingestión proteica y de recambio proteico, pero ambos parámetros bajan al descender la velocidad del crecimiento. Dado que aproximadamente el 70 por ciento o más de los aminoácidos utilizados para la síntesis proteica proceden de la degradación de otras proteínas del cuerpo, las necesidades de aminoácidos en la dieta son pequeñas con relación al recambio. Los datos relativos a los niños, adultos y ancianos se obtuvieron en el centro de Investigación Clínica del MIT; los datos de los niños de un año se deben a D. Picou, del Instituto T.M.R.U., de Jamaica.**



LAS VARIACIONES EN EL METABOLISMO PROTEICO de dos poblaciones, genética y geográficamente distintas, resultaron ser asimismo significativamente distintas, desde el punto de vista estadístico. Se estudió la distribución de las pérdidas obligadas de nitrógeno por vía urinaria en hombres jóvenes, a los que se había alimentado con una dieta libre de proteínas durante un período de doce días. La excreción diaria de nitrógenos por vía urinaria durante los últimos cuatro días del experimento se midió en 83 estudiantes universitarios, varones, del MIT por los autores ***(curva negra),*** **y en otros 50 estudiantes sometidos a observación por P.-C. Huang en la Universidad Central de Taiwan** ***(curva de color).*** **El gráfico muestra la excreción media por población** ***(flechas verticales)*** **y la distribución acumulativa de las pérdidas de nitrógeno urinario dentro de cada grupo.**

Dado que el cuerpo depende de un aporte regular de nutrientes, los complejos mecanismos bioquímicos han evolucionado en orden a regular la disponibilidad de los nutrientes para las células, de tal modo que el organismo pueda ajustarse a una amplia diversidad de alimentos. Los nutrientes captados en exceso, con respecto a las necesidades de las células, se degradan a través de los procesos catabólicos. Los productos catabólicos (de degradación) se eliminan finalmente por la orina, la bilis, el sudor y otras secreciones corporales, evitándose así su acumulación para que no alcancen niveles tóxicos.

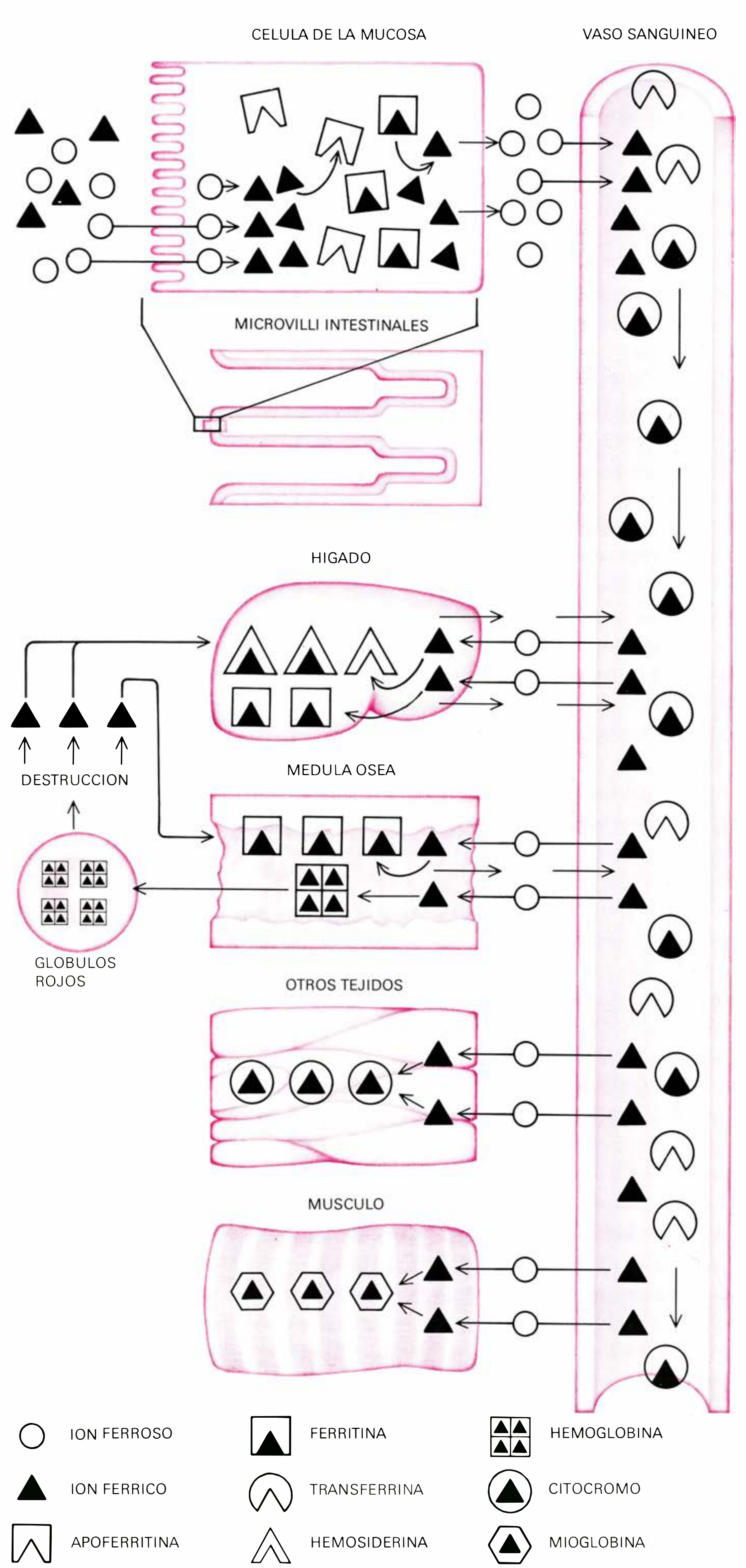
La importancia de la regulación de los niveles de nutrientes se observa muy notablemente en determinadas enfermedades. En el trastorno hereditario conocido como enfermedad de la orina en jarabe de grosella, los niños no pueden metabolizar adecuadamente los aminoácidos de cadena ramificada (leucina, isoleucina y valina). En otra enfermedad genética, la fenilcetonuria, falta el enzima encargado de degradar el animoácido fenilalanina. Ambos casos provocan una acumulación de aminoácidos en la sangre y en los tejidos, particularmente en el cerebro, que conducen a la muerte de las células y al retraso mental. El tratamiento de los pacientes afectos de dichas enfermedades consiste en suministrarles dietas especiales que contengan escasa concentración del nutriente dañino.

Otro ejemplo de la acumulación de nutrientes hasta alcanzar niveles tóxicos es la hemocromatosis, una forma grave de enfermedad hepática originada normalmente por una ingestión combinada de niveles elevados de hierro y alcohol que determina una acumulación excesiva de hierro en el hígado. Las vitaminas A, D y K son también tóxicas en concentraciones elevadas. La hipervitaminosis producida por una ingestión excesiva de vitamina A, debida normalmente al uso indiscriminado de preparados vitamínicos de alta potencia, comporta como consecuencia un engrosamiento de la piel, dolores de cabeza y una mayor propensión a enfermar.

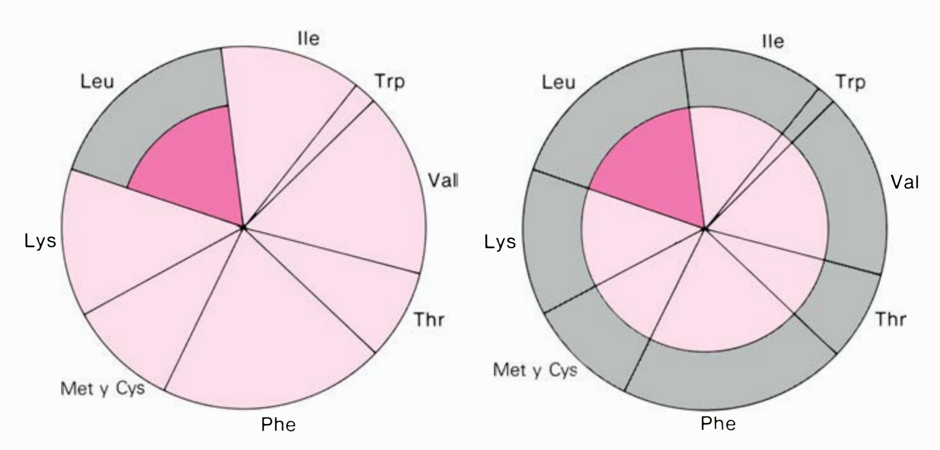
Por otro lado, si el nutriente se ingiere en cantidad tan pequeña que resulta insuficiente para hacer frente a las necesidades normales de las células, se producen cambios en el interior de éstas y de los tejidos que tienden a debilitar las limitadas disponibilidades del material en cuestión. Estos cambios pueden implicar una absorción más efectiva de

nutrientes por parte del intestino así como la activación de los mecanismos bioquímicos que aumentan la retención del material una vez haya pasado al interior del cuerpo. Si la cantidad ingerida del nutriente continúa siendo inadecuada, estas adaptaciones metabólicas fallan, y la deficiencia metabólica aumenta por encima del "horizonte clínico", apareciendo los síntomas característicos que pueden conducir a la incapacidad y a la muerte.

Además de los nutrientes esenciales, el organismo necesita de un aporte de energía, es decir, de compuestos ricos en energía. El contenido energético de éstos se mide en calorías. La determinación de las necesidades cuantitativas de calorías y de nutrientes esenciales es de gran importancia práctica para la nutrición humana. Tal fijación es mucho más difícil de lo que corrientemente se cree. En ganadería, las necesidades mínimas de los distintos nutrientes pueden deducirse en relación a determinadas funciones productivas, como, por ejemplo, un crecimiento rápido en los animales destinados al consumo, un gran volumen de leche en las vacas y la producción máxima de lana en los corderos. Las necesidades de nutrientes del organismo humano no pueden definirse tan simplemente debido a que cuesta mucho más medir su bienestar. ¿Cuáles son los elementos de referencia más adecuados para hacerlo? Los criterios más lógicos para determinar las necesidades de nutrientes individuales deberían ser, al parecer, gozar de una buena forma física y de una mayor resistencia a las enfermedades; ahora bien, puesto que no podemos medir el crecimiento de los animales sujetos a experimentación, debemos buscar otros sistemas de medición más objetivos.

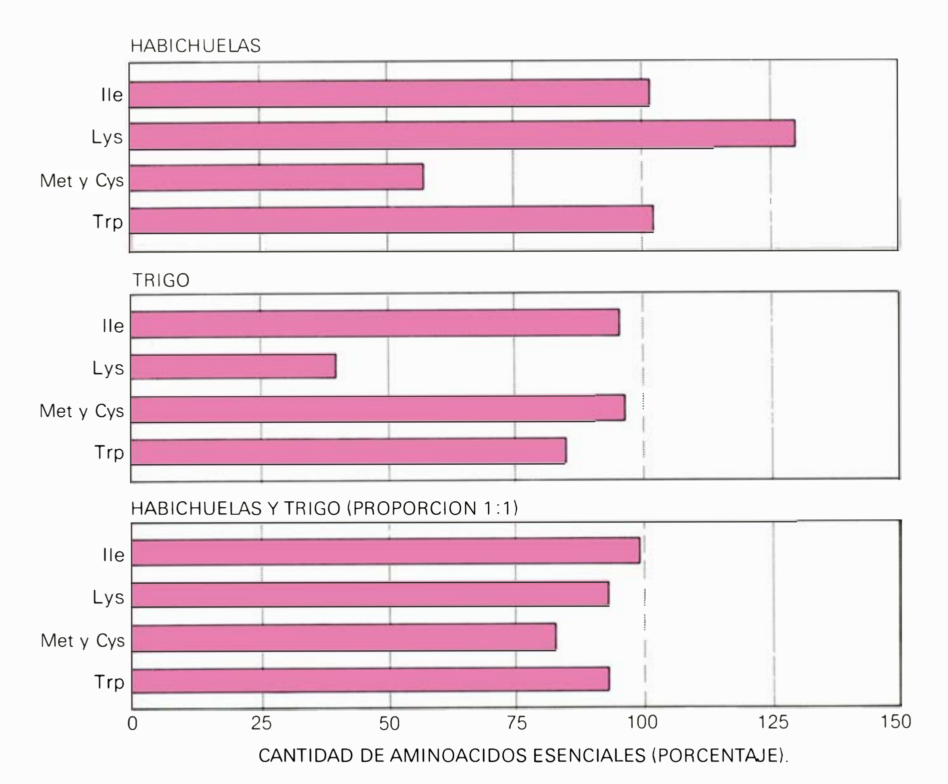


SE LIBERA HIERRO de los alimentos durante la digestión. En el estado de oxidación de ión ferroso (Fe^{++}), el hierro pasa desde el interior del intestino a las células de la mucosa intestinal, en donde se oxida a la forma férrica (Fe^{+++}). El ion férrico se combina entonces con la proteína apoferritina para formar el complejo conocido como ferritina. La cantidad de hierro ligado a la ferritina en cualquier momento dado contribuye a estabilizar el nivel de hierro en la sangre y a proteger a las células de la toxicidad de un exceso de hierro. En la superficie de las células de la mucosa, el ión férrico se reduce a ión ferroso penetrando en el torrente circulatorio, en donde vuelve a oxidarse. Entonces el hierro se combina con otra proteína, la apoferritina, que lo transporta a los tejidos. El hierro se excreta en cantidades relativamente bajas, ya que al ser liberado en la degradación de la hemoglobina se recicla para la síntesis de otra hemoglobina.



EL APORTE DE NUEVE AMINOACIDOS ESENCIALES, en una proporción relativa adecuada, se requiere para la síntesis proteica. Si se da una carencia parcial de alguno de éstos *(color oscuro),* la utilización de los demás aminoácidos del acervo celular se verá reducida en la misma proporción. Los aminoácidos sobrantes no pueden retenerse almacenados, y se catabolizan para obtener energía. Las abreviaturas que indican los aminoácidos son: Leu, leucina; Val, valina; Phe, fenilalanina; Thr, treonina; Ile, isoleucina; Lys, lisina; Met, metionina; Cys, cistina; Trp, triptófano.

Algunos nutrientes, o sus productos de degradación, se excretan cada día por la orina, heces y sudor, perdiéndose también en la caída fragmentaria del pelo y en la descamación de la piel. Para que el cuerpo se mantenga en equilibrio metabólico, la ganancia total de un determinado nutriente a través de la alimentación debe ser igual a las pérdidas totales del mismo. Por tanto, midiendo la cantidad que es necesario ingerir cada día para equilibrar la cantidad perdida diariamente por el cuerpo, se pueden determinar las necesidades metabólicas mínimas para un nutriente dado. Por ejemplo, puede medirse el nitrógeno, un componente característico y relativamente constante de las proteínas, para determinar las necesidades de proteína. El enfoque del problema a través del equilibrio metabólico ha sido también el seguido a la hora de hallar las necesidades de calcio, cinc y magnesio, pero el sistema no resulta adecuado para los nutrientes que se oxidan y pierden carbono con el aire espirado, como las grasas y algunas vitaminas. Para estos nutrientes, las necesidades pueden estimarse determinando la cantidad mínima del nutriente que evita la aparición de las enfermedades de deficiencia subclínica, aunque la técnica tiene sus restricciones metodológicas y también éticas.



LA COMPLEMENTARIEDAD ENTRE PROTEINAS DE LA DIETA se da cuando una proteína de "baja calidad", que resulta inadecuada en cuanto al aporte de determinados aminoácidos esenciales, se ingiere acompañada de otra proteína que integre en su formación aminoácidos complementarios de aquélla. Si se ingieren ambos tipos de proteínas simultáneamente, o con un corto intervalo de separación, la mezcla puede originar un equilibrio de aminoácidos, comparable al que daría una proteína de "alta calidad" ingerida sola. La línea de trazos representa el 100 por cien de los niveles de aminoácidos esenciales en una proteína de referencia tipo, que es considerada por un comité de expertos de la FAO-OMS como la que mejor suple las necesidades humanas. Las combinaciones complementarias de proteínas se encuentran en casi todas las culturas.

Incluso en los casos en que el sistema del equilibrio metabólico resulta aplicable, éste no nos proporciona información acerca de en qué parte del organismo se está reteniendo o utilizando el nutriente; puede llegarse a obtener un equilibrio general del nutriente estudiando una ingestión dada del mismo, pero los hallazgos que puedan obtenerse no prueban que todos los tejidos estén funcionando en condiciones óptimas y que pueda conservarse la salud en estas condiciones.

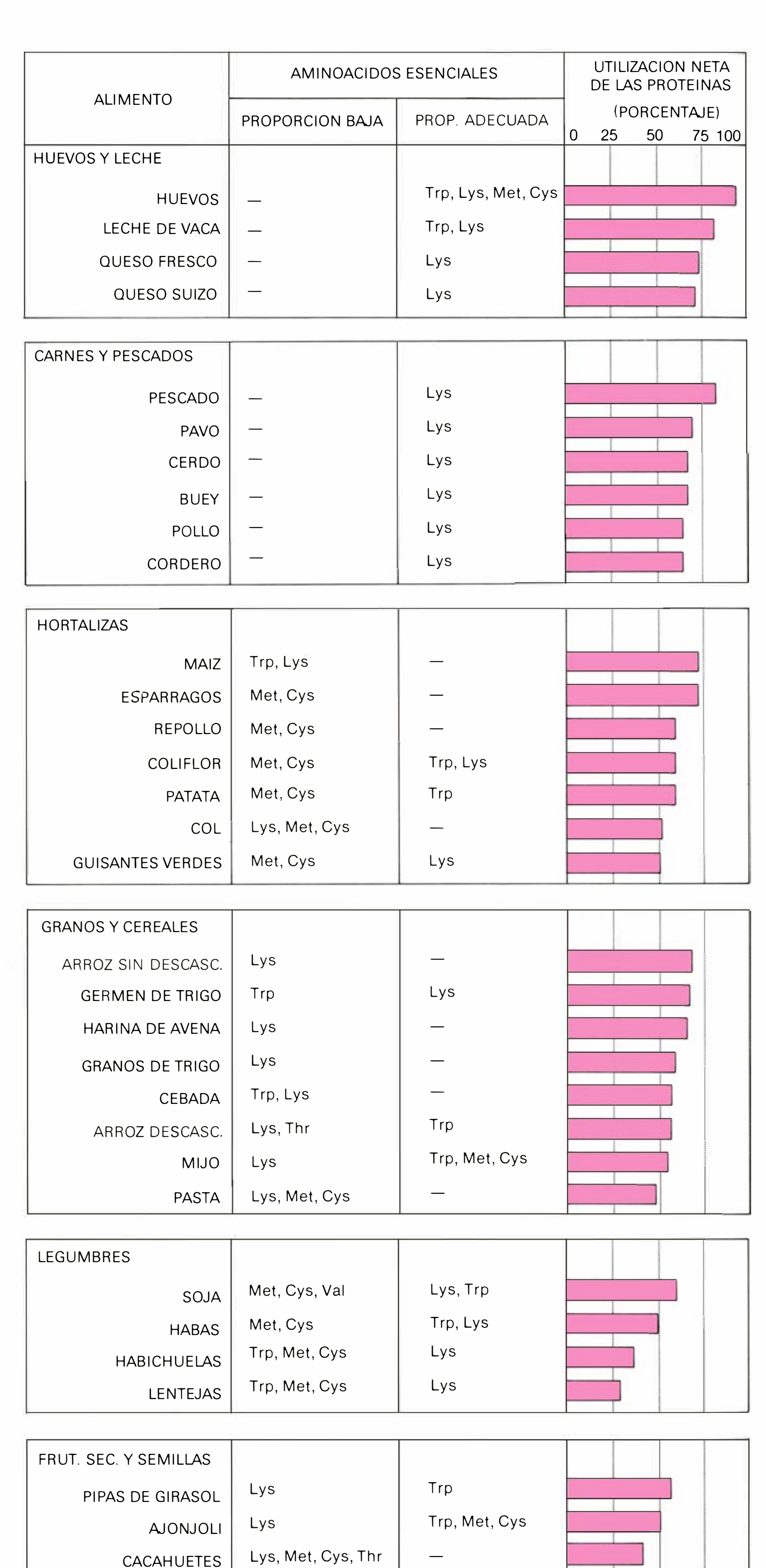
Además, difícilmente se llevarán a término estudios de equilibrio metabólico durante períodos de dieta prolongada; los trabajos de este tipo necesitan de instalaciones muy complejas y de un equipo de personal preparado. La necesidad de controlar muy cuidadosamente los niveles del nutriente ingeridos implica que el menú diario tenga que ser bastante monótono. Las pérdidas en orina y heces (y, en teoría, a través del sudor, la piel y el pelo) deben determinarse cuantitativamente, lo que comporta nuevas incomodidades para los pacientes y problemas técnicos para los investigadores, particularmente cuando los sujetos del estudio son bebés, niños pequeños o ancianos. Por estas razones, los estudios de equilibrio metabólico suelen durar poco: una semana o menos en niños y, dos o tres semanas, en adultos. El significado dietético y sanitario a largo plazo de estos breves períodos de estudio no se ha determinado de un modo crítico, de forma que la exactitud de nuestros actuales cálculos de las necesidades nutritivas, basados en estudios a corto plazo, no es absoluta. Esta situación general no resulta satisfactoria en modo alguno.

En el Departamento de Nutrición y Ciencia de la Alimentación del Instituto de Tecnología de Massachusetts, trabajando con Edwina E. Murray, experta en nutrición, y con varios posgraduados de la facultad de Medicina, pudimos completar una serie de estudios

de equilibrio metabólico a largo plazo prestándose a ello estudiantes muy responsables y dispuestos. Estos se habían adaptado a dietas monótonas y habían seguido estrictas instrucciones en lo referente a la recolección diaria completa de orina y heces durante períodos de hasta 100 días, lo que constituye un aumento significativo sobre los períodos usuales de 14 a 21 días de duración.

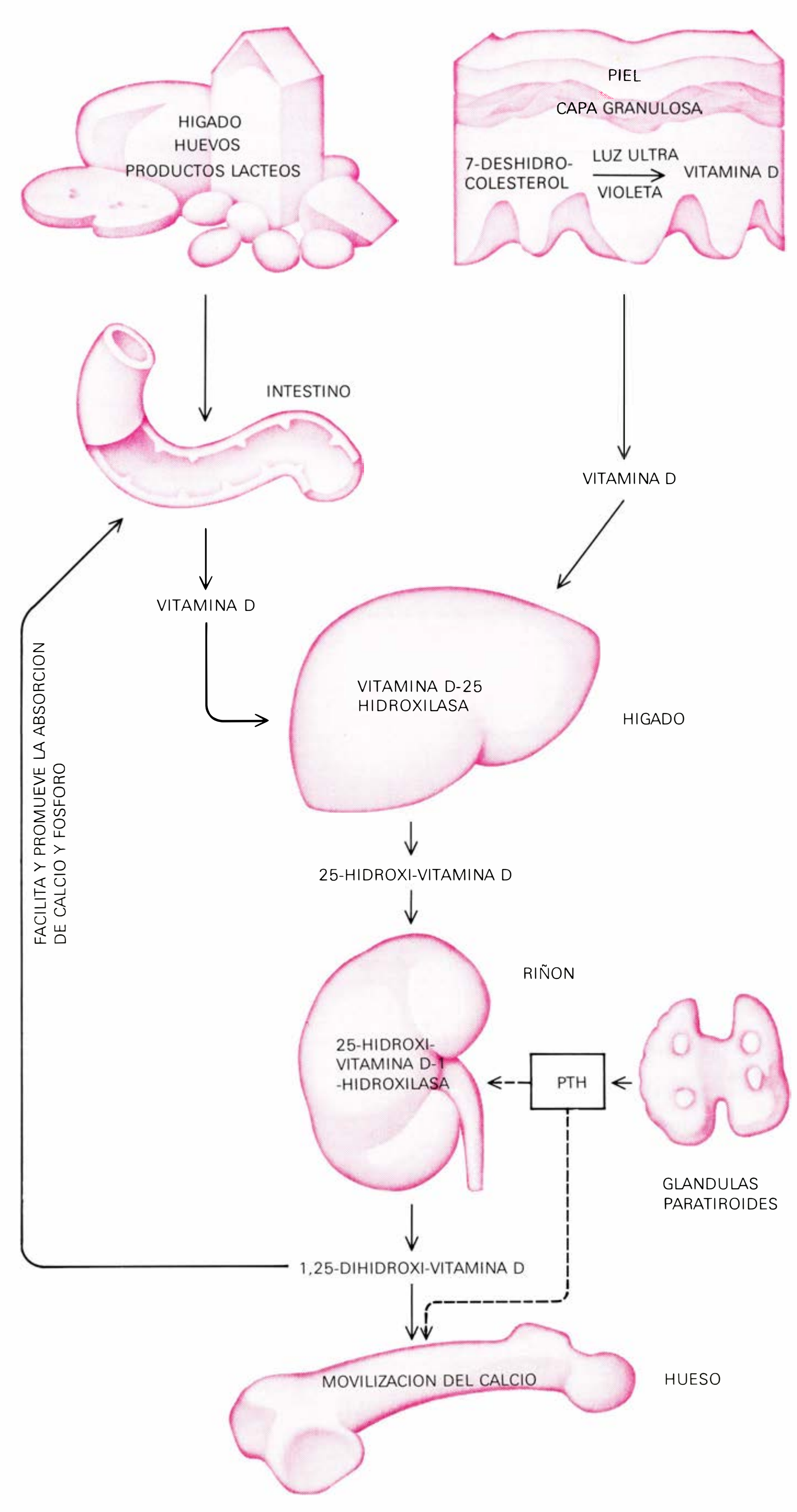
En una línea de trabajo, seis voluntarios se alimentaron de una dieta que proporcionaba un nivel de proteínas igual a la ración de seguridad recomendada por la reunión conjunta, de 1973, de expertos de la Organización para la Agricultura y la Alimentación y de la Organización Mundial de la Salud dedicada a las necesidades energéticas y proteínicas. A los tres meses, las mediciones metabólicas efectuadas en dichos sujetos daban cuenta de los descensos en la masa corporal (descontando la grasa) y en la masa muscular y/o de los cambios en el metabolismo hepático. Estos resultados apoyan decididamente la opinión de que los estudios de equilibrio metabólico a corto plazo no resultan suficientes como criterio único para la determinación de las necesidades proteínicas en el hombre, y que las recomendaciones dadas sobre los niveles de proteína que debe ingerir diariamente la mayoría de la población son inadecuadas. Aunque nuestros propios estudios sobre el equilibrio metabólico habían operado con períodos de tiempo significativamente más largos que los empleados para deducir los valores dados por la FAO-OMS, queda todavía el inconveniente de que los sujetos experimentales eran pocos, que el estudio se limitó a varones estadounidenses de situación privilegiada y que la duración del estudio seguía siendo corta.

Para algunos nutrientes esenciales no se ha seguido ningún planteamiento de éstos, y sólo se dispone de datos epidemiológicos imprecisos. En estos casos,



ALIMENTO	AMINOACIDOS ESENCIALES: PROPORCION BAJA	AMINOACIDOS ESENCIALES: PROP. ADECUADA	UTILIZACION NETA DE LAS PROTEINAS (PORCENTAJE) 0 25 50 75 100
HUEVOS Y LECHE			
HUEVOS	—	Trp, Lys, Met, Cys	
LECHE DE VACA	—	Trp, Lys	
QUESO FRESCO	—	Lys	
QUESO SUIZO	—	Lys	
CARNES Y PESCADOS			
PESCADO	—	Lys	
PAVO	—	Lys	
CERDO	—	Lys	
BUEY	—	Lys	
POLLO	—	Lys	
CORDERO	—	Lys	
HORTALIZAS			
MAIZ	Trp, Lys	—	
ESPARRAGOS	Met, Cys	—	
REPOLLO	Met, Cys	—	
COLIFLOR	Met, Cys	Trp, Lys	
PATATA	Met, Cys	Trp	
COL	Lys, Met, Cys	—	
GUISANTES VERDES	Met, Cys	Lys	
GRANOS Y CEREALES			
ARROZ SIN DESCASC.	Lys	—	
GERMEN DE TRIGO	Trp	Lys	
HARINA DE AVENA	Lys	—	
GRANOS DE TRIGO	Lys	—	
CEBADA	Trp, Lys	—	
ARROZ DESCASC.	Lys, Thr	Trp	
MIJO	Lys	Trp, Met, Cys	
PASTA	Lys, Met, Cys	—	
LEGUMBRES			
SOJA	Met, Cys, Val	Lys, Trp	
HABAS	Met, Cys	Trp, Lys	
HABICHUELAS	Trp, Met, Cys	Lys	
LENTEJAS	Trp, Met, Cys	Lys	
FRUT. SEC. Y SEMILLAS			
PIPAS DE GIRASOL	Lys	Trp	
AJONJOLI	Lys	Trp, Met, Cys	
CACAHUETES	Lys, Met, Cys, Thr	—	

LOS VALORES NETOS de la utilización de las proteínas constituyen un índice de la "calidad", es decir, del valor nutritivo, de las proteínas de diversa procedencia. Estos valores son los porcentajes de los aminoácidos ingeridos en forma de proteína que quedan retenidos en el cuerpo y que se incorporan a las proteínas celulares. La proteína del huevo, junto con la de la leche y la mayoría de las carnes, tiene unas proporciones excelentes de todos los aminoácidos esenciales, por lo que su aprovechamiento por parte del cuerpo es elevado. Por contra, las legumbres resultan deficientes en uno o más de los nueve aminoácidos esenciales, lo que reduce considerablemente la proporción de aminoácidos disponibles para la síntesis de proteínas, dando lugar a un valor bajo de utilización neta, o aprovechamiento de la proteína.



LA VITAMINA D se absorbe preformada en determinados alimentos; también se sintetiza en la capa granulosa de la piel gracias a la acción de las radiaciones solares sobre el esteroide 7-dehidrocolesterol, estrechamente relacionado con la vitamina D. Las funciones fisiológicas de la vitamina dependen de su conversión a la forma activa: 1,25-dihidroxi-vitamina D, proceso que tiene lugar mediante dos pasos metabólicos catalizados por enzimas, el primero en el hígado y el segundo en el riñón. La hormona paratiroidea (PTH) sirve para regular la síntesis de la forma activa de la vitamina y también colabora con ella para favorecer la movilización del calcio de los huesos. Además, la forma dihidroxilada de la vitamina estimula la absorción de calcio en el intestino delgado.

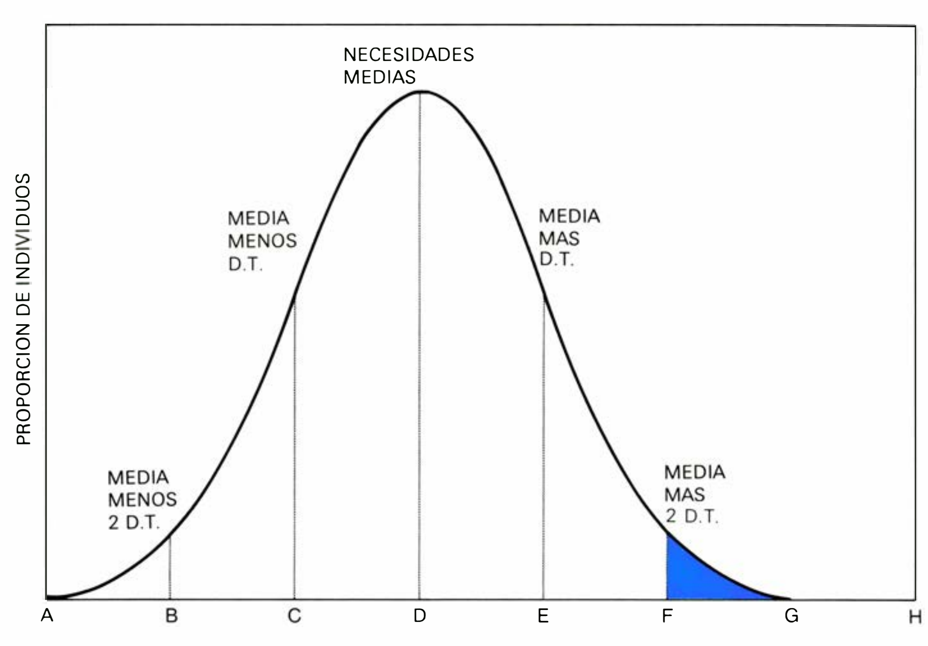
debemos basarnos casi exclusivamente en los datos obtenidos en experimentos con animales, extrapolando los resultados a los humanos con precaución, o bien intentando determinar cuánto consumen los grupos bien nutridos considerando su promedio como un nivel de ingestión adecuado del nutriente.

Las muchas dificultades a que se debe hacer frente para determinar las cantidades de nutrientes que necesita un individuo se ven complicadas por las variaciones de las necesidades de este individuo en un período de tiempo prolongado y por las diferencias eetre un individuo y otro. Es fácil establecer que algunos estados fisiológicos como el crecimiento, la gestación y la lactancia necesitan unas cantidades de la mayoría de los nutrientes superiores a las cantidades que necesitan los adultos sanos para su mero sostén. Algo más difícil resulta medir los sutiles cambios de necesidades que se dan en el envejecimiento de los adultos, problema que a menudo se complica por los efectos acumulativos de enfermedades crónicas y agudas que pueden afectar a las necesidades de nutrientes, interfiriendo su absorción o su metabolización.

Otro campo delicado es la determinación de las necesidades de los bebés y niños pequeños. Entre los investigadores existe la tendencia a considerar a estos individuos como adultos pequeños; así, a partir de estudios realizados con individuos mayores se extrapolan las necesidades del niño en proporción a su peso, más un margen para cubrir su crecimiento. Este enfoque del problema no tiene en cuenta los cambios en la actividad metabólica de las células ni las variaciones, con la edad, en el recambio de nutrientes. Las investigaciones realizadas en nuestro laboratorio sobre el metabolismo de las proteínas han puesto de manifiesto la existencia de velocidades de recambio muy altas en los recién nacidos, velocidades que disminuyen rápidamente en las primeras semanas y meses de la infancia. Transcurridos éstos, el descenso se hace más lento, pero continúa probablemente, con respecto a todo el organismo, a lo largo de la vida adulta. Aunque las necesidades proteicas no vienen determinadas totalmente por las velocidades de recambio metabólico, el sentido de la variación en las necesidades diarias totales de proteína es el mismo que el que sigue el recambio proteico total del organismo en cuestión.

Las necesidades de nutrientes varían también entre individuos de la misma

edad, sexo y estado fisiológico, debido a la interacción de factores genéticos y ambientales. Las variaciones importantes en las necesidades nutritivas son las determinadas por la expresión real de los genes del individuo, más que por la expresión potencial de los genes bajo circunstancias ideales. Por ejemplo, en Japón se ha producido un aumento en la estatura de los adultos en los últimos 30 años, debido a que se ha ido expresando una proporción progresivamente mayor del potencial genético en pleno al mejorar las condiciones dietéticas y ambientales.



LA DISTRIBUCION DE LAS NECESIDADES DE NUTRIENTES en una población hipotética de individuos sanos sigue una curva en forma de campana. *D* es el valor de las necesidades medias de la población. La unidad estadística de variación con respecto a la media se conoce como desviación tipo (D.T.), que se calcula a partir de la suma de los cuadrados de los valores de sustitución de cada individuo menos el cuadrado del valor promedio, divididos por la raíz cuadrada del número total de observaciones. Una ingestión con un valor *F*, obtenido mediante la suma de dos veces el valor de la desviación tipo a la media, cubrirá las necesidades de casi todos los individuos de la población (97,5%). La región coloreada muestra la pequeña minoría de individuos sanos (2,5%) cuyas necesidades no estarán cubiertas con dicha ingestión de alimentos. Este enfoque del problema ha sido utilizado por varios comités para fijar el tamaño de las raciones alimentarias.

Al tratar de conocer el grado de variación adecuado que hay que aplicar a las necesidades de un nutriente dado en individuos normales se plantea el problema de la falta de datos sobre las poblaciones de distintos países. En un trabajo que se hizo en el M.I.T., sometimos a los estudiantes a una dieta justa, pero carente de proteínas, durante doce días; se pretendía calcular el nivel mínimo de excreción nitrogenada, que recibe el nombre de pérdida obligada de nitrógeno. Las medias estadísticas de los valores del nitrógeno urinario eran significativamente mayores que las halladas más tarde con muestras de universitarios de Taiwan, observados bajo condiciones comparables por P.-C. Huang, de la Facultad de Medicina de la Universidad central de Taiwan. Todavía está por aclarar si esta disparidad de resultados se debe a diferencias genéticas o a factores ambientales o experimentales, pero el hecho de la diferencia parece ser indiscutible. Todavía no se sabe enteramente cuál puede ser el alcance real de esta observación, desde el punto de vista nutritivo, pero pone al descubierto la apremiante necesidad de llevar a cabo muchísimos trabajos de antropología cuantitativa, comparativos, sobre las exigencias y el metabolismo de los nutrientes en las poblaciones que difieren en su componente geográfica, cultural o genética.

Las necesidades de nutrientes dependen también de una amplia diversidad de factores ambientales, a saber: físicos (por ejemplo, la temperatura ambiental media), biológicos (la presencia de organismos infecciosos y otros parásitos) y sociales (actividad física, indumentaria habitual, condiciones sanitarias e higiene personal y otros esquemas de comportamiento). Los factores ambientales pueden influir en la situación nutritiva modificando directamente las necesidades dietéticas o, indirectamente, a través de sus efectos sobre la producción, la disponibilidad y el consumo de los alimentos.

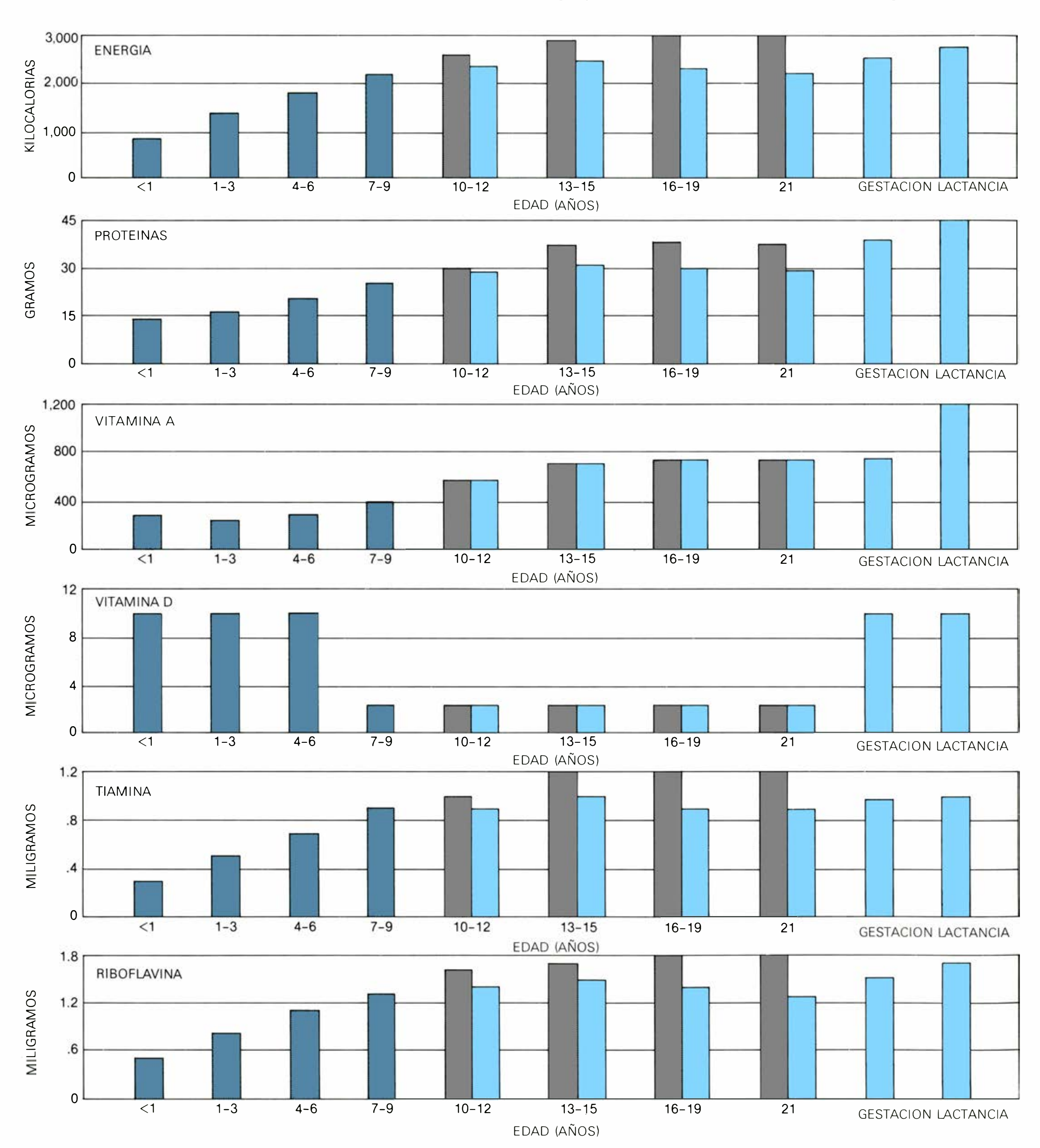
Los principales factores dietéticos que influyen en las necesidades nutritivas son tres. El primero estriba en que la forma en que se encuentra un nutriente en el alimento puede condicionar significativamente el grado de su absorción y utilización. Por ejemplo, la eficacia, relativamente baja, de la absorción del hierro, a partir de alimentos de origen vegetal, constituye un factor importante en la captación total del hierro necesario para la vida. El ion ferroso (hierro reducido como en el sulfato ferroso o hierro elemental finamente dividido) se absorbe más eficazmente que el ion férrico (como en el cloruro férrico o en el pirofosfato de hierro). Sin embargo, el propio ion ferroso se absorbe con escasa eficacia al ingerirse en combinación con fitatos y oxalatos, que se encuentran en las verduras frescas y en el pan integral sin descascarillar del Norte de Africa y del Próximo Oriente. El hierro que se encuentra en la carne (hierro hémico) se absorbe mucho mejor que el hierro de origen vegetal. Bastan pequeñas cantidades de carnes rojas para aumentar manifiestamente la absorción general de hierro.

El segundo factor importante que afecta a las necesidades nutritivas se refiere a la presencia o ausencia de un nutriente determinado, lo cual suele incidir en la utilización de otro nutriente. Por ejemplo, cuando la ingestión de proteínas a través de la dieta es deficiente, las dos proteínas que intervienen en el transporte de la vitamina A (la proteína que liga al retinol y la prealbúmina) no son sintetizadas por el hígado en cantidades suficientes. Así la forma esterificada de la vitamina permanece almacenada en el hígado sin que pueda hacerse llegar a los restantes tejidos del cuerpo. Pueden aparecer entonces signos de deficiencia de vitamina A, aunque el organismo siga recibiendo dosis de dicha vitamina (o de su precursor, el beta-caroteno, que se encuentra en alimentos vegetales) que serían suficientes en la hipótesis de que la nutrición proteica fuera la adecuada.

El tercer factor es la presencia, en el intestino grueso, de bacterias que viven de moléculas orgánicas que no fueron absorbidas en el intestino delgado. A lo largo de sus actividades metabólicas, estas bacterias manufacturan vitaminas

que su hospedante humano absorbe; se trata de una relación simbiótica, mutuamente beneficiosa. La vitamina K, cuya deficiencia produce un fallo en la coagulación de la sangre, se sintetiza de este modo, y se producen también así algunas vitaminas del complejo B.

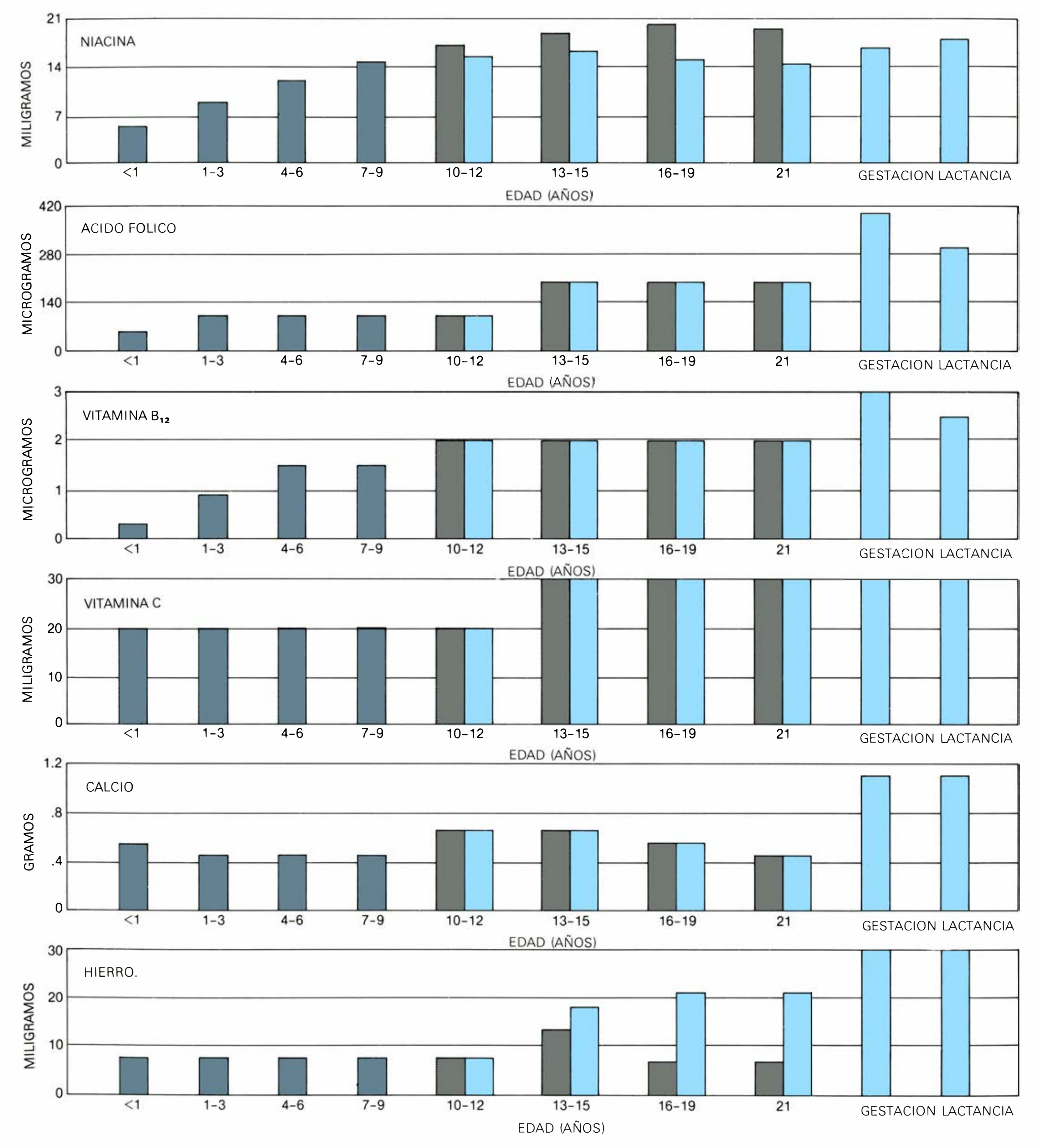
Los factores que influyen en la exactitud de la concentración de las proteínas recabadas de la dieta, para la demanda de un individuo tipo, pueden complicarse aún más. En primer lugar, las necesidades normales no son de proteína, hecha y conformada, propiamente dicha, sino, y atendiendo a la edad, de unos nueve o diez aminoácidos esenciales en cantidades suficientes y en proporciones adecuadas. Que un aminoácido se utilice para la síntesis de una nueva proteína o que se degrade para aprovechar su contenido energético (un proceso an-



LAS RACIONES DIARIAS INDICADAS aquí cubren las necesidades de energía, de proteínas y de varios minerales y vitaminas seleccionados. Fueron acordadas por un comité de expertos de la FAO-OMS en el año 1974. Las necesidades varían con la edad; las de los varones *(gris)*

tieconómico) depende de varios factores. En primer término, todos los aminoácidos esenciales tienen que hallarse a la vez en el medio intracelular para que pueda darse la síntesis de proteínas. Si un aminoácido está presente sólo en una proporción pequeña, la proteína sólo se formará en la medida de las disponibilidades de dicho aminoácido (denominado el aminoácido limitante). Si en el acervo celular falta un aminoácido esencial, los otros no pueden reservarse para efectuar luego la síntesis de proteínas; se pueden catabolizar para aprovechar su energía.

El nivel de calorías no procedentes de proteínas que hay en la dieta tiene también su interés. Si el nivel es elevado con respecto a las necesidades, la proteína ingerida se salva de la degradación a que de otra suerte se vería sometida para hacer frente a las necesidades energéti-



son distintas de las necesidades de las mujeres *(color)*. **La gestación y la lactancia aumentan las necesidades nutritivas. Las raciones recomendadas no son absolutas para todos los individuos y pueden revisarse según nuestros conocimientos sobre la materia vayan aumentando.**

cas, pero el individuo tiende a la obesidad. Si el nivel calórico es bajo, parte de la proteína degradada se destinará a cubrir las necesidades energéticas, y el cuerpo no podrá disponer de ella para satisfacer sus necesidades proteicas propiamente dichas. Se cree, a veces, erróneamente, que no vale la pena mejorar el componente proteico de la dieta si lo ingerido es deficiente desde el punto de vista calórico. Nuestras investigaciones realizadas con adultos jóvenes han puesto de manifiesto que puede obtenerse alguna mejora en la retención de proteínas, incluso cuando existe un acopio insuficiente de energía. También se necesitan fuentes no específicas de nitrógeno que lo suministren en cantidades adecuadas, de suerte que los aminoácidos no esenciales y otros compuestos nitrogenados, importantes para el meta-

AMINOACIDOS ESENCIALES	RACION DIARIA RECOM. PARA ADULTOS VARONES SANOS (MILIGRAMOS)	FUENTES DIETETICAS	PRINCIPALES FUNCIONES EN EL ORGANISMO	DEFICIENCIA	EXCESO
AROMATICOS		PROTEINAS BUENAS FUENTES Legumbres Productos lácteos Carnes Pescados FUENTES SUFICIENTES Arroz Maíz Trigo FUENTES DEFICIENTES Casava Boniato	Precursores de las proteínas estructurales, enzimas, anticuerpos, hormonas, compuestos metabólicamente activos Algunos aminoácidos tienen funciones específicas: (a) La tirosina es un precursor de la adrenalina y de la tiroxina (b) La arginina es un precursor de las poliaminas (c) La metionina es necesaria para el metabolismo de los grupos metilo (d) El triptófano es un precursor de la serotonina	Una ingestión deficiente de proteínas conduce a que se presente el kwashiorkor, y unido con una baja ingestión de alimentos energéticos conduce al marasmo	La ingestión excesiva de proteínas posiblemente agrava o potencia estados patológicos crónicos
FENILALANINA	1,100				
TIROSINA					
BASICOS					
LISINA	800				
HISTIDINA	Desconocida				
DE CADENA RAMIFICADA					
ISOLEUCINA	700				
LEUCINA	1,000				
VALINA	800				
SULFURADOS					
METIONINA	1,100				
CISTINA					
OTROS					
TRIPTOFANO	250				
TREONINA	500				
ACIDOS GRASOS ESENCIALES		Grasas vegetales (aceites de maíz, de semilla de algodón y de soja). Germen de trigo. Aceites de origen vegetal	Intervienen en la estructura y función de las membranas celulares Son precursores de las prostaglandinas (regulación) de la función gástrica, de la liberación de hormonas, de la actividad del músculo liso)	Crecimiento insuficiente Lesiones en la piel	Desconocido
ARAQUIDONICO	6,000				
LINOLEICO					
LINOLENICO					

LOS AMINOACIDOS Y LOS ACIDOS GRASOS ESENCIALES no pueden ser sintetizados en el organismo y, por tanto, deben estar presentes en la alimentación. Los aminoácidos son los elementos constitutivos de las proteínas corporales; los ácidos grasos esenciales se hallan implicados en el mantenimiento de la estructura y en la función de las membranas celulares, y actúan como precursores de las prostaglandinas, una familia de compuestos de carácter parecido a las hormonas, que desarrollan varias acciones fisiológicas en el cuerpo humano.

bolismo, puedan sintetizarse por el organismo.

Las proteínas difieren entre sí por la concentración en aminoácidos esenciales y por las proporciones relativas (equilibrio) en que éstos se encuentran. Una fuente de proteínas "completa" desde el punto de vista nutritivo, como son la carne, los huevos o la leche, proporciona una cantidad suficiente de aminoácidos esenciales que necesita el cuerpo para cubrir las exigencias propias de sostén y desarrollo. Una proteína de baja calidad, o "incompleta" desde el punto de vista nutritivo, como la zeína del maíz, que carece de los aminoácidos triptófano y lisina, no puede hacer frente ni al sostén ni al desarrollo del organismo. Otra proteína de calidad algo más elevada como la gliadina del trigo, proporciona suficiente lisina para el sostén

VITAMINAS	RACION DIARIA RECOM. PARA ADULTOS VARONES SANOS (MILIGRAMOS)	FUENTES DIETETICAS	PRINCIPALES FUNCIONES EN EL ORGANISMO	DEFICIENCIA	EXCESO
HIDROSOLUBLES					
VITAMINA B_1 (TIAMINA)	1.5	Cerdo, carnes y menudillos, granos completos, legumbres	Coenzima (tiaminpirofosfato) de reacciones de descarboxilación	Beriberi (cambios en los nervios periféricos, edema, fallo cardíaco)	Ninguno registrado
VITAMINA B_2 (RIBOFLAVINA)	1.8	Ampliamente distribuida en los alimentos	Constituyente de dos coenzimas flavín-nucleotídicos que intervienen en el metabolismo energético (FAD y FMN)	Labios enrojecidos, fisuras en los bordes de la boca (queilisis), lesiones oculares	Ninguno registrado
NIACINA	20	Hígado, carnes magras, granos, legumbres (puede sintetizarse a partir de triptófano)	Constituyente de dos coenzimas que intervienen en reacciones de oxidorreducción (NAD y NADP)	Pelagra (lesiones cutáneas y gastrointestinales, desórdenes nerviosos y mentales)	Sonrojamiento, quemazón y picores alrededor del cuello, cara y manos
VITAMINA B_6 (PIRIDOXINA)	2	Carnes, verduras, cereales integrales	Coenzima (fosfato de piridoxal) que interviene en el metabolismo de aminoácidos	Irritabilidad, convulsiones, temblores musculares, dermatitis perioculares, litiasis renal	Ninguno registrado
ACIDO PANTOTENICO	5-10	Ampliamente distribuido en los alimentos	Constituyente del coenzima A, que desempeña un papel central en el metabolismo energético	Fatiga, trastornos del sueño, fallos de coordinación, náusea (rara en el hombre)	Ninguno registrado
ACIDO FOLICO	.4	Legumbres, verduras verdes, productos de trigo integral	Coenzima (reducida) que interviene en la transferencia de unidades individuales de carbono en el metabolismo de aminoácidos y ác. nucleicos	Anemia, anomalías gastrointestinales, diarrea, lengua roja	Ninguno registrado
VITAMINA B_{12}	.003	Carnes, huevos, productos lácteos (no presente en alimentos de origen vegetal)	Coenzima que interviene en la transferencia de unids. individuales carbono en metabol. ác. nucleicos	Anemia perniciosa, desórdenes neurológicos	Ninguno registrado
BIOTINA	No establecida. La dieta normal proporciona de 0,15-0,3	Legumbres, verduras, carnes	Coenzima necesario para la síntesis de grasas, metabolismo de los aminoácidos y formación de glucógeno (almidón animal)	Fatiga, depresión, náusea, dermatitis, dolores musculares	Ninguno registrado
COLINA	No establecida. La dieta normal proporciona 500-900	Alimentos conteniendo fosfolípidos (yema de huevo, hígado, granos, legumbres)	Constituyente de los fosfolípidos y precursor del neurotransmisor acetilcolina	No detectada en el hombre	Ninguno registrado
VITAMINA C (ACIDO ASCORBICO)	45	Frutos cítricos, tomates, pimientos verdes, lechugas	Mantiene la matriz intercelular del cartílago, hueso y dentina. Importante para la síntesis del colágeno	Escorbuto (degeneración de la piel, dientes, vasos sanguíneos, hemorragias epiteliales	Relativamente atóxica. Posibilidad de litiasis renal
LIPOSOLUBLES					
VITAMINA A (RETINOL)	1	Provitamina A (beta-caroteno) ampliamente distribuida en los vegetales verdes. El retinol presente en la leche, mantequilla, quesos, margarina enriq.	Constituyente de la rodopsina (pigmento visual). Mantenimiento de los tejidos epiteliales. Desempeña un papel importante en la síntesis de mucopolisacáridos	Xeroftalmía (queratinización del tejido ocular), ceguera nocturna, ceguera permanente	Dolor de cabeza, vómitos, descamación de la piel, anorexia, hinchazón de los huesos largos
VITAMINA D	.01	Aceite de hígado de bacalao, huevos, productos lácteos, leche enriquecida y margarina	Promueve el crecimiento y mineralización de los huesos. Aumenta la absorción de calcio	Raquitismo (deformidades óseas), en los niños. Osteomalacia en adultos	Vómitos, diarrea, pérdida de peso, trastornos renales
VITAMINA E (TOCOFEROLES)	15	Semillas, vegetales de hojas verdes, margarina, aceites	Actúa como un antioxidante evitando daños a la membrana celular	Posiblemente anemia	Relativamente atóxica
VITAMINA K (FILOQUINONA)	03	Verduras de hojas verdes. Pequeñas cantidades en cereales, frutas y carnes	Importante para la coagulación de la sangre (interviene en la formación de protrombina activa)	Deficiencias condicionadas asociadas con graves hemorragias. Hemorragias internas	Relativamente atóxica. Las formas sintéticas a dosis altas pueden provocar ictericia

LAS VITAMINAS son moléculas orgánicas que se necesitan en muy pequeñas cantidades en la dieta de los animales superiores. La mayoría de las vitaminas hidrosolubles (complejo vitamínico B) actúan como coenzimas (o catalizadores orgánicos); las cuatro vitaminas liposolubles (A, D, E y K) tienen funciones más diferenciadas. Aunque un aporte bajo de vitaminas puede dar lugar a una enfermedad carencial, el uso indiscriminado de preparados vitamínicos de gran potencia puede acarrear también efectos perniciosos. La vitamina C es hidrosoluble.

pero no para el desarrollo. Las proteínas de origen vegetal contienen normalmente cantidades insuficientes de uno o más aminoácidos esenciales. Los niveles de lisina y treonina en los cereales son generalmente bajos; el maíz es deficiente también en triptófano. Las legumbres son buenas fuentes de lisina, pero tienen niveles bajos de los aminoácidos sulfurados metionina y cisteína; las verduras están bien equilibradas en todos los aminoácidos esenciales salvo en metionina.

A pesar de estas deficiencias de los distintos alimentos, se pueden combinar comidas que contengan proporciones aceptables de aminoácidos esenciales resultantes de la mezcla de proteínas de fuentes diversas. En general, los cereales, que son deficientes en lisina, se complementan con las legumbres, que lo son en metionina. Todas las culturas han

MINERAL	CANT. PRESENTE CUERPO ADULTO (GRAMOS)	RACION DIARIA REC. ADULT. VAR. SANOS (MG)	FUENTES DIETETICAS	PRINCIPALES FUNCIONES EN EL ORGANISMO	DEFICIENCIA	EXCESO
CALCIO	1,500	800	Leche, queso, verduras, legumbres secas	Formación de huesos y dientes. Coagulación de la sangre. Transmisión nerviosa	Crecimiento detenido. Raquitismo, osteoporosis. Convulsiones.	No registrado en el hombre
FOSFORO	860	800	Leche, queso, carne, volátiles, granos	Formación de huesos y dientes. Equilibrio ácido-base	Debilidad, desmineralización del hueso. Pérdida de calcio.	Erosión de la mandíbula (mandíbula porosa)
AZUFRE	300	(Aportado por los aminoácidos sulfurados)	Aminoácidos sulfurados (metionina y cistina) presentes en las proteinas de la dieta	Constituyente de substancias tisulares activas, de cartílagos y tendones	Relacionado con la ingestión y deficiencia de aminoácidos sulfurados	Un exceso de ingestión de aminoácidos sulfurados conduce a un crecimiento escaso
POTASIO	180	2,500	Carnes, leche, muchas frutas	Equilibrio ácido-base. Equilibrio hídrico del cuerpo. Función nerviosa	Debilidad muscular. Parálisis	Debilidad muscular. Muerte
CLORO	74	2,000	Sal común	Formación de jugo gástrico. Equilibrio ácido-base	Calambres musculares. Apatía mental. Reducción del apetito	Vómitos
SODIO	64	2,500	Sal común	Equilibrio ácido-base. Equilibrio hídrico del cuerpo. Función nerviosa	Calambres musculares. Apatía mental. Reducción del apetito	Elevada tensión sanguínea
MAGNESIO	25	350	Granos integrales, verduras de hoja verde	Activa los enzimas. Interviene en la síntesis proteica	Fallos en el crecimiento. Alteraciones del comport. Debilidad. Espasmos	Diarrea
HIERRO	4.5	10	Huevos, carnes magras, legumbres, granos integrales, verduras	Constit. de la hemoglob. y de enzimas que interv. en el metabolismo energético	Anemia ferropénica (debilidad, menor resist. a las infecciones)	Siderosis. Cirrosis hepática
FLUOR	2.6	2	Agua de bebida, té, marisco	Puede ser importante para el mantenimiento de la estructura de los huesos	Mayor frecuencia de pérdida de los dientes	Dientes moteados. Aumento de la densidad del hueso. Alteraciones neurológicas
CINC	2	15	Ampliamente distribuido en los alimentos	Constituyente de los enzimas implicados en la digestión	Fallos en el crecimiento. Defic. gland. sex.	Fiebre, náusea, vómitos, diarrea
COBRE	1	2	Carnes, agua de bebida	Constituyente de enzimas asociados con el metabolismo del hierro	Anemia, alteraciones óseas (rara en el hombre)	Cuadro metabólico raro (enfermedad de Wilson)
SILICIO VANADIO ESTAÑO NIQUEL	.024 .018 .017 .010	No establecida	Ampliamente distribuido en los alimentos	Función desconocida (esenciales para los animales)	No registrada para el hombre	Enfermedades profesionales: Silicio - silicosis. Vanadio - irritación pulmonar. Estaño - vómitos. Níquel - neumonía aguda
SELENIO	.013	No establecida (La dieta aporta de 0,05 a 0,1 por día)	Mariscos, carnes y cereales	Funciones estrechamente relacionadas con la vitamina E	Anemia (rara)	Desórdenes gastrointestinales, irritación de los pulmones
MANGANESO	.012	No establecida (La dieta aporta de 6 a 8 por día)	Ampliamente distribuido en los alimentos	Constituyente de enzimas que intervienen en la síntesis de grasas	En los animales: crecimiento deficiente, alteraciones del sistema nervioso, anormalidades en la reproducción	Envenenamiento en las minas de manganeso: enfermedad generalizada del sistema nervioso
YODO	.011	.14	Pescados y mariscos, productos lácteos, muchas verduras	Constituyente de las hormonas tiroideas	Bocio (tiroides hipertrofiado)	La ingestión de cantidades muy elevadas disminuye la actividad tiroidea
MOLIBDENO	.009	No establecida (La dieta aporta 0,4 por día)	Legumbres, cereales, menudillos	Constituyente de algunos enzimas	No registrada en el hombre	Inhibición de enzimas
CROMO	.006	No establecida (la dieta aporta de 0,05 a 0,12 por día)	Grasas, aceites vegetales, carnes	Interviene en el metabolismo de la glucosa y energético	Fallos en la capacidad de metabolización de la glucosa	Enfermedades profesionales: daños en la piel y riñones
COBALTO	.0015	(Necesario en forma de vitamina B_{12})	Carne y menudillos, leche	Constituyente de la vitamina B_{12}	No registrada en el hombre	Enfermedad profesional: dermatitis y enferm. eritrocitaria.
AGUA	40,000 (60 por ciento del peso corporal)	1,5 litros por día	Alimentos sólidos, líquidos, agua de bebida	Transporte de nutrientes. Regulación de la temperatura. Participa en las reacciones metabólicas	Sed, deshidratación	Dolores de cabeza, náusea. Edema. Tensión sanguínea elevada.

LOS ELEMENTOS MINERALES ESENCIALES intervienen en las funciones electroquímicas de los nervios y los músculos, en la formación de huesos y dientes, en la activación de enzimas y, en el caso del hierro, en el transporte de oxígeno. Los elementos traza (níquel, estaño, vanadio y silicio) resultan hoy esenciales para la vida animal. Aunque están ampliamente distribuidos en la naturaleza y parece improbable que se produzcan deficiencias de los mismos en la dieta, las variaciones en su ingestión equilibrada comportan importantes consecuencias para la salud.

desarrollado sus propias mezclas de proteínas complementarias. En el Oriente Medio, el pan de trigo, cuyos niveles de lisina son insuficientes, se come con queso, que tiene un elevado contenido en dicho aminoácido. Los mexicanos comen frijoles con arroz, los jamaicanos arroz y guisantes, los hindúes trigo y legumbres y los estadounidenses toman en el desayuno cereales con leche. Sin embargo, este tipo de suplementación, especialmente durante el crecimiento de los niños, sólo sirve cuando las proteínas deficientes y las complementarias se ingieren juntas, o por separado pero dentro de un intervalo de pocas horas.

Las infecciones agudas y las crónicas, así como otros procesos patológicos que causan también una disminución de la función gastrointestinal, aumentan las necesidades de proteínas en la dieta; ya que, entonces, se absorberá menos proteína. El trauma, la ansiedad, el miedo y otras causas de tensión tienen un efecto aún más pronunciado en la alteración de las necesidades proteicas. La tensión trae como consecuencia que se intensifique el catabolismo de la proteína muscular en detrimento de su síntesis, lo que lleva a un incremento en el transporte de aminoácidos desde el músculo y tejidos periféricos hasta el hígado; en este órgano se convierten luego en glucosa con fines energéticos. Este proceso crea un déficit en el contenido de proteína que debe poseer el organismo, bajón que habrá de compensarse aumentando la retención de proteína en el cuerpo durante el período de recuperación.

Con cualquier infección, incluso con la misma inmunización por empleo de vacunas con virus vivos, se produce una pérdida de apetito que conduce a una menor ingestión de alimentos. Las consecuencias metabólicas de las infecciones agudas han sido ampliamente descritas por William R. Beisel y por sus colaboradores en el Army Medical Research Institute of Infectious Diseases. Los primeros cambios que se registran son un aumento de la síntesis de anticuerpos y otras proteínas características de las enfermedades agudas; siguen las respuestas catabólicas, las cuales inducen una pérdida mayor de nitrógeno (del grupo nitrogenado de la proteína corporal), de vitamina A, de vitamina C. de hierro y de cinc, y, probablemente, de otros nutrientes.

Las enfermedades pueden también alterar directamente los mecanismos que controlan el metabolismo de los nutrientes esenciales; en virtud de lo cual, se modifican las necesidades de los mismos en la dieta. La conversión de la vitamina D en su forma metabólicamente activa, por ejemplo, depende de la actividad del hígado y de la del riñón. Si los riñones están enfermos, la utilización normal de la vitamina queda comprometida, por cuyo motivo muchos individuos que padecen enfermedades renales presentan anormalidades en el esqueleto similares a las que se pueden apreciar en los raquíticos, que tienen una enfermedad carencial debida a la deficiencia de vitamina D. Cuando estos pacientes reciben una forma sintética del derivado activo de la vitamina muestran una clara mejoría.

La absorción de nutrientes se reduce siempre que las vías gastrointestinales resultan afectadas de un modo significativo por infecciones agudas o crónicas, por una elevada concentración de parásitos intestinales o por la malaria (que interfiere en la circulación mesentérica). Las infecciones crónicas y la presencia de parásitos pueden aumentar las necesidades de nutrientes de otros modos. Incluso con una dieta que en otra situación resultaría la adecuada, puede desarrollarse una anemia por falta de hierro; tal ocurre, por ejemplo, a consecuencia de la pérdida intestinal de sangre atribuida a la presencia de lombrices intestinales, esquistosomiasis y ciertas infecciones producidas por protozoos. En los países del norte de Europa, en donde el consumo de pescado crudo lleva comúnmente a importantes infestaciones con cestodos, suele desarrollarse una enfermedad carencial por falta de vitamina B_{12} (anemia y daños neurológicos) en los individuos afectados, debido a que el parásito tiene unas necesidades particularmente importantes de dicha vitamina.

Por estas razones, los niños de los países en vías de desarrollo que están sujetos a infecciones intestinales, respiratorias y de otra índole (que aumentan las necesidades de nutrientes), y que al mismo tiempo están sometidos a una dieta pobre, se hallan expuestos a adquirir graves enfermedades debidas a la desnutrición. El enfoque ideal, desde el punto de vista de la sanidad pública, sería eliminar las infecciones en vez de proporcionar las cantidades supletorias de nutrientes que requiere esta situación; esta solución, sin embargo, no suele ser factible por falta de recursos o por razones de tipo social.

Todas estas fuentes de variación de las necesidades nutritivas hacen imposible la obtención de valores precisos para dichas exigencias de nutrientes, tanto por lo que se refiere a las necesidades de los individuos como de los grupos de población. En lugar de ello, las raciones alimentarias deben enfocarse desde el punto de vista estadístico, a partir de la hipótesis de que la distribución de las variaciones individuales de las necesidades nutritivas describe una curva campaniforme que se extiende en valores inferiores y en valores superiores a las necesidades medias, deducidas para dicho grupo de población.

No resulta práctico confeccionar un programa exhaustivo de alimentación que cubra el ciento por ciento de la población, pues se habría de postular una cantidad de alimentos mayor que la necesaria para gran parte de la población. Siempre habrá unos cuantos individuos sanos, el dos o el tres por ciento, que necesitarán mayor cantidad de un nutriente que la que pueda sugerirse en una ración dietética práctica, y otro pequeño número de individuos, situados más al extremo de la curva en campana, que constituyen aproximadamente un dos o tres por mil, cuyas anormalidades metabólicas potencian de forma significativa sus exigencias. Por último, téngase en cuenta que las raciones diarias recomendadas están pensadas sólo para cubrir las necesidades de individuos sanos, resultando a menudo inadecuadas para personas que sufren enfermedades agudas o crónicas.

La principal limitación que se plantea a la utilización práctica de la ración diaria recomendada es que estos valores se basan en datos obtenidos en muestras pequeñas, y posiblemente no representativas; luego, se extrapolaron y aplicaron a las poblaciones indiscriminadamente. En los países en vías de desarrollo, en donde es probable que gran parte de la población padezca alguna enfermedad, los niños tienen un peso y altura considerablemente menores que los que se estiman normales para su edad, debido a los efectos combinados de las infecciones repetidas y de la desnutrición. Como consecuencia de ello, el tamaño corporal de los adultos es también pequeño. Al referir a ellos los valores específicos, en razón de su edad, que se han obtenido en muestras de poblaciones bien alimentadas, estos valores resultarán innecesariamente altos, y elevadas también las necesidades calóricas que se les otorguen. De ahí que sea preferible calcular las raciones para los adultos de los países en vías de desarrollo a partir del peso corporal en kilogramos.

Las raciones por kilogramo, sin embargo, no son suficientes para los niños cuyo crecimiento ha sido frenado por la desnutrición y la enfermedad. Estas raciones resultarían demasiado bajas para la recuperación del crecimiento, perpetuando el pobre estado nutricio que padecen esos niños. Una solución de compromiso que se utiliza en países en donde el enanismo infantil por falta de nutrientes es común, consiste en calcular las necesidades específicas de los niños basándose en la ración por kilogramo, y añadiendo una pequeña cantidad extra para permitir la recuperación del crecimiento.

Cuando las infecciones agudas están generalizadas en una población, debe darse una ración suplementaria a los enfermos durante su proceso de recuperación; si bien, debido a que durante las fases agudas de la enfermedad se produce una reducción de la ingestión de alimentos, así como un aumento en la retención en los individuos debilitados, las necesidades globales para el grupo apenas si se alteran. De todos modos, pueden necesitarse raciones dietéticas más elevadas para compensar las graves y continuas pérdidas de alimentos energéticos y de nutrientes, o para paliar los efectos de una absorción alterada por las enfermedades crónicas o por la existencia de parásitos intestinales.

En resumen, las raciones recomendadas no pueden servir como indicadores absolutos de la idoneidad de una determinada dieta para un individuo dado. Estas raciones recomendadas pueden aplicarse de un modo justificado sólo a poblaciones razonablemente sanas. Sin embargo, y a pesar de sus limitaciones, hay que determinar las necesidades calóricas y las raciones recomendadas de los nutrientes esenciales. Los cálculos sirven de guía para la confección de dietas apropiadas para los individuos, sirven también para valorar la idoneidad relativa de las dietas necesarias en las distintas poblaciones, para desarrollar el contenido de programas de educación dietética y para planificar los programas de intervención en la nutrición.

No existe ninguna otra área del estudio de la salud humana en la que la investigación sea de una premura tan acuciante como el estudio de las necesidades nutritivas de poblaciones humanas representativas, de las dietas que cubran los diferentes estadios de la salud y la enfermedad. Un conocimiento adecuado de los tipos y la cantidad de alimentos necesarios para el hombre constituye algo esencial para la planificación de la política alimentaria y de nutrición.

Ciencia y Sociedad

Energía nuclear (2)

El previsible agotamiento en fechas no muy lejanas de los yacimientos de petróleo, principal fuente energética del mundo actual, obliga a plantearse la cuestión de qué otros recursos energéticos están disponibles, o lo estarán en un futuro próximo, para tomar el relevo.

En primer lugar se encuentra el carbón mineral. Este viejo producto, cuya defunción se anunció un poco precipitadamente con la euforia del petróleo, representa, hoy por hoy, la fuente energética sobre la que con más seguridad puede descansar la humanidad en los próximos años. Las reservas naturales ahora conocidas serían suficientes para garantizar el consumo actual durante varios cientos de años, e indudablemente existen depósitos todavía no explorados. Se dispone, además, de una tecnología avanzada, sobre todo por lo que a extracción se refiere, ya que es necesario desarrollarla en el aspecto de la utilización, especialmente los procesos para transformar el carbón en combustibles líquidos y gaseosos. Pero también el carbón presenta sus problemas. Aunque hay países, como Rusia, Estados Unidos y Australia, que cuentan con grandes yacimientos vírgenes, hay otros que no los tienen o que, como sucede con los países europeos, los han explotado ya hasta un grado que origina costes muy elevados para la extracción del disponible. Por otro lado, la minería subterránea es una actividad difícil y peligrosa, con un elevado índice de accidentes fatales. En fin, la contaminación producida por la combustión del carbón es muy grande, incluso después de la aplicación de purificadores, tras un gran coste de inversión improductiva. Desde el punto de vista ecológico, no cabe duda de que el carbón es la fuente de energía que plantea más problemas. Actualmente proporciona alrededor de un 30 por ciento de la total energía mundial, participación que tiende a aumentar.

La energía hidroeléctrica es también suficientemente conocida. Es una energía natural y que se renueva periódicamente. Apenas origina dificultades ambientales, pero tiene dos graves inconvenientes: es irregular, dependiendo del decurso natural de las estaciones y de la mayor o menor pluviosidad, y, sobre todo, tiene unas posibilidades de ampliación limitadas. En los países industrializados, la mayor parte de las centrales y saltos de agua que podrían construirse ya están construidos, por lo que casi todo lo que puede esperarse en este sector depende de los avances tecnológicos que permitan obtener mejor rendimiento de las instalaciones actuales. La contribución de la energía hidroeléctrica al consumo energético mundial no llega al 10 por ciento.

Otra fuente de energía natural es la radiación solar. El sol, esa importante estrella enana del tipo espectral G2, hace llegar continuamente a la tierra 1395 kW por metro cuadrado, mientras que la atmósfera exterior de nuestro planeta intercepta 173×10^{12} kW. Para tener una idea más accesible de lo que esto significa, se ha calculado que con sólo el 0,5 por ciento de la energía que llega a la superficie de los Estados Unidos de América se cubrirían todas las necesidades energéticas de este país hasta el año 2000. La energía, pues, está ahí; la dificultad estriba en recogerla. La fotosíntesis es, hasta ahora, el mejor mecanismo existente sobre la tierra para hacerlo y, aun con todo, aprovecha menos del uno por ciento de la energía incidente. Se está trabajando en diversas partes del mundo para poner a punto dispositivos eficaces de utilización a gran escala de la energía solar. Las perspectivas son diversas. Su aprovechamiento para cubrir parcialmente las necesidades energéticas de cada hogar (mediante colectores solares situados en los tejados de las casas) es prometedor, aunque requiere una inversión elevada, ya que, por lo pronto, hay que hacer una instalación especial cara, sin que con ello se pueda prescindir de esta instalación suplementaria que garantice el suministro por medios convencionales (electricidad, gas, etc.). Por el contrario, la posibilidad de grandes centrales generadoras se ve como más remota. Una alternativa sería cubrir grandes extensiones (por ejemplo los desiertos) con espejos que concentrasen los rayos del sol o con células fotovoltaicas. Ambas instalaciones tendrían que ser controladas por computadoras para seguir el curso aparente del sol por el firmamento. Otra propuesta es la de lanzar satélites al espacio que convirtiesen la energía solar en potentes haces de microondas, que, recogidos por instalaciones de tierra, la volverían a transformar en energía eléctrica. Es dudoso que nuestro nivel tecnológico actual permita poner en funcionamiento ninguno de ambos sistemas en un futuro próximo, y, en todo caso, el coste por kilowatio de la energía así generada sería muy superior a los que estamos acostumbrados a pagar ahora.

Energía natural y abundante existe también en los vientos, las mareas y el calor interno de la tierra. Pero todas ellas son fuentes difíciles de manejar, requieren grandes inversiones previas en desarrollo e investigación, instalaciones complicadas de gran extensión superficial y, en suma, aunque deben ser tenidas en cuenta y promovidas, difícilmente podrían contribuir rápidamente a la solución del problema energético mundial en proporciones significativas.

Una dificultad común a casi todas las fuentes de energía naturales es la de su irregularidad. Para poder disponer de la energía en el preciso momento en que se la necesita, se requieren medios de almacenamiento que permitiesen echar mano de ella cuando no brille el sol, no haya viento o haya sequía. Ahora bien, la tecnología del almacenamiento de energía ha demostrado ser un campo de enorme dificultad y de muy lento progreso. Mientras no se encuentren mejores soluciones para este eslabón de la cadena energética, muchas de las fuentes que acabamos de mencionar verán frenadas sus posibilidades de utilización por esta pesada hipoteca.

La cosecha de 1976

Los últimos informes sobre el cultivo en el mundo tienden a corroborar las distintas valoraciones recogidas a lo largo de estas páginas de *Investigación y Ciencia*. La producción mundial de alimentos sigue su curso ascendente, aunque a ritmo lento. Se van roturando nuevas tierras y se saca mayor provecho de las plantaciones en la mayoría de las regiones. En unos países la cosecha fue buena, en otros deficiente. Como siempre, el factor crítico ha vuelto a ser el tiempo. La oferta mundial de alimentos se mantiene ligeramente por encima de la tasa de crecimiento y, todo parece

indicarlo, tal diferencia aumentará el año próximo.

Los datos provisionales del Economic Research Service del Departamento de Agricultura de Estados Unidos configuran la cosecha cereal mundial, terminada el mes de junio último, en 1,22 miles de millones de toneladas métricas. Es decir, en 20 millones de toneladas métricas más, aproximadamente, un 1,5 por ciento, que la menguada cosecha anterior. Pero sigue estando en 34 millones de toneladas por debajo de la tendencia ascendente que se había establecido en los últimos quince años. Este deficiente total se ha debido, principalmente, al mal tiempo y a las cosechas muy pobres de la URSS y de Europa occidental. Los países en vías de desarrollo alcanzan sus mejores resultados y han sido capaces de reducir su volumen de importación cereal. Las noticias más destacables proceden de la India, cuya cosecha cereal última alcanzó los 115 millones de toneladas, lo que supone una clara ventaja sobre su mejor cosecha en años precedentes, que se remonta a 1970-1971, y que sólo alcanzó los 108 millones de toneladas. El grano excedente lo está comprando y ensilando el gobierno, y parece que podrá paliarse con él hasta dos años de escasez.

Las previsiones para la próxima temporada cereal son algo mejores. Un pronóstico provisional, que se apoya en la expansión en un 2 por ciento de los terrenos de cultivo y en las previsibles buenas condiciones climáticas, cifra el rendimiento medio de la cosecha de 1976-1977 en un 3-5 por ciento mayor que este año. Es decir, se espera cosechar nada menos que 1,3 miles de millones de toneladas, en proporción un ascenso del 6 por ciento. Parte del incremento esperado se funda en la cosecha estadounidense del maíz, que será la mejor de su historia, con un 7 por ciento de crecimiento sobre la ya recolección máxima de este año agrícola terminado. La segunda producción cereal máxima será también del trigo norteamericano. Por lo demás, la grave sequía que asoló este verano a todos los países de Europa occidental ha reducido las esperanzas de lo que se consideraba habría de ser la mayor cosecha de su historia.

La edad del universo

Existen diversas estimaciones de la edad del universo, cuyos resultados son ampliamente divergentes, lo que no es de extrañar si se tienen en cuenta los condicionamientos que tal medición comporta.

No obstante, incluso dejando aparte las bienintencionadas interpretaciones de la cosmogonía bíblica y ateniéndonos a las posibilidades teóricas más recientes, se han seguido diversos caminos, como son la medición de la constante de Hubble para la expansión del universo, inferencias de datos obtenidos de los enjambres globulares de estrellas o técnicas relacionadas con la síntesis de los elementos químicos.

I. C. Browne y B. L. Berman, del Lawrence Livermore Laboratory de la Universidad de California, informan en *Nature* de una nueva variante de estas últimas técnicas aplicada por ellos, basada en mediciones del ritmo de formación de los elementos químicos según el proceso *s* de captación de neutrones, mientras que todos los demás intentos realizados hasta ahora por esta vía han considerado el proceso *r* de transformación de los elementos. Utilizando el acelerador de electrones de 100 MeV de Livermore han medido los valores de captura de neutrones de los isótopos 186 y 187 del osmio, cuyo conocimiento permite calibrar el proceso de transformación del renio en osmio y, a su través, hacer una estimación de la duración del período de nucleosíntesis. Browne y Berman llegan a un valor de $(12{,}9 \pm 3) \times 19^9$ años para este período de nucleosíntesis en nuestra galaxia. Sumándole las estimaciones más actuales del tiempo transcurrido entre el origen del universo y la formación de la galaxia (aproximadamente 2×10^9 años) y del período comprendido entre el fin de la nucleosíntesis y la época actual ($4{,}7 \times 10^9$ años) llegan a una edad total del universo de aproximadamente $19{,}6 \times 10^9$ años, es decir, 19.600 millones de años (con un margen de incertidumbre que no consideran mayor de $4{,}10^9$ años).

Las estimaciones recientes realizadas por otros métodos son inferiores: $(16{,}6 \pm 1{,}7) \times 10^9$ años por la expansión del universo; $(13 \pm 3) \times 10^9$ años siguiendo el proceso de transformación del uranio en torio.

España prehistórica

En Arganda, muy cerca de Madrid, se ha descubierto por fin algo que se echaba de menos en la prehistoria de dicha zona: un sitio de ocupación humana, con industria lítica y fauna asociada en una terraza fluvial del sistema Manzanares-Jarama.

Las terrazas cuaternarias de ambos ríos son célebres desde hace un siglo, lo que equivale a decir desde casi el nacimiento de la prehistoria, gracias a los hallazgos de industrias de piedra. Pero, a pesar del intento de síntesis de Pérez de Barradas en los años veinte, y de la interpretación estratigráfica de O. Riba formulada en el V Congreso de INQUA en 1957, no se había conseguido establecer unas bases para interpretar la secuencia cultural de la prehistoria madrileña con una referencia segura a la estratigrafía cuaternaria. Los hallazgos de las terrazas del Manzanares y del Jarama consistían en objetos sueltos, arrastrados o removidos de otros niveles, y se desconfiaba encontrar entre los sedimentos fluviales de estos ríos un "sitio de ocupación".

Era precisamente la falta en Madrid de hallazgos arqueológicos en el sitio en que fueran utilizados y dejados por el hombre, conservados en su asociación con los sedimentos y fósiles de la época, uno de los factores que otorgaban un valor singular a los yacimientos de Torralba y Ambrona (Soria), que tienen este carácter de "sitios de ocupación". Torralba y Ambrona, excavados con el método adecuado, primero por el Marqués de Cerralbo y el sacerdote D. Justo Juberías, en la primera década de este siglo, y por un equipo internacional interdisciplinario, dirigido por F. C. Howell (a la sazón en la Universidad de Chicago), constituían el único punto de referencia sólido para la prehistoria española del pleistoceno medio. Los vestigios culturales han podido allí ser referidos a las condiciones del medio físico, climático, vegetal y animal, ricamente documentadas, datadas y encuadrables en un marco general de uso del territorio y economía del ocupante humano del paleolítico inferior.

El nuevo descubrimiento proporcionará una información semejante en la región madrileña, que, junto con los nuevos sitios de ocupación que se están investigando en la depresión de Guadix-Baza por un equipo interdisciplinario de la Universidad de Granada, como asimismo en la cueva de Atapuerca en Burgos, será un relevante punto de apoyo para recomponer a través de una visión moderna y completa la prehistoria de España.

En 1971 se encontraron los primeros fósiles del elefante antiguo *–Palaeoloxodon antiquus platyrhynchus–* en el yacimiento de Arganda. Tales descubrimientos, unidos a las indagaciones sobre los

primeros roedores fósiles del Cuaternario de Madrid, por Nieves López, aportan un dato estratigráfico válido para la cronología del sistema de terrazas cuaternarias del Jarama. En los últimos meses del presente año se han vuelto a encontrar nuevos fósiles de elefantes, ahora ya claramente asociados a utensilios de piedra y en depósitos que no corresponden a un fuerte arrastre, sino a una ribera o llanura de inundación, con todos los indicios, pues, de tratarse de un sitio de ocupación humana. Ante lo prometedor de los datos se ha llevado a cabo en estos últimos meses de verano una excavación metódica con intervención de arqueológos y paleontólogos.

Pero la historia de los fósiles de elefante en España arranca del siglo pasado.

El elefante fósil que más abunda en las terrazas del Manzanares y del Jarama, fue clasificado por Graells (1897) como una especie distinta del elefante antiguo europeo, *Elephas antiquus,* especie creada por el paleontólogo inglés Falconer para el esqueleto fósil de Upnor, en Inglaterra. Graells se basó en un cráneo encontrado cerca de la Sacramental de San Isidro para describir al elefante madrileño como *Elephas platyrhynchus* , nombre que alude a la singular anchura del premaxilar –más de un metro–, en cuyos extremos salen, muy divergentes, sus grandes defensas.

Descubrimientos y estudios posteriores revelaron el parentesco de la especie europea con una asiática que el mismo Falconer había descrito anteriormente con el nombre de *Elephas namadicus.* Ambas están emparentadas con las especies enanas del Pleistoceno superior de las islas mediterráneas, *Elephas melitensis* y *Elephas falconeri,* así como el elefante abundantísimo en los sedimentos del mar interior de Japón, *Elephas naumanni,* descrito por Makiyama. Todas estas especies se han reunido en el género, creado en 1924 por Matsumoto, *Palaeoloxodon* (Aguirre 1969).

La rama de los "paleoloxodontos", eurasiática, desciende del *Palaeoloxodon recki,* especie de larga vida en el Africa oriental, pues se le conoce desde hace alrededor de 2 millones de años hasta hace cerca de medio millón. Este se halla emparentado con los antecesores más antiguos de los actuales elefantes de Africa –género *Loxodonta*– y de Asia –género *Elephas*–, mientras que todo este árbol evolucionaba aparte del género más popular entre los elefantes fósiles, los *Mammuthus* (mamut), que disputaron a los paleoloxodontos el dominio de Eurasia en el Cuaternario, y les sobrevivieron hasta después de la última glaciación. A la carne de unos y otros debemos seguramente nuestra existencia y cultura, porque mal habría podido subsistir y desarrollarse la humanidad prehistórica sin el alimento (un macho adulto podía pesar hasta 8 toneladas), la piel y la materia prima para diversos usos derivados de su esqueleto, que le proporcionó durante cientos de miles de años la caza de los paleoloxodontos y los mamutes. Por no hablar sino de los primeros, se les encuentra asociados a culturas prehistóricas en sitios de ocupación –despiece y comida o habitación– en los yacimientos del Pleistoceno inferior de los lagos Rodolfo y Baringo, en la quebrada de Olduvai, en los del pleistoceno medio de Torralba y Ambrona en España, de Clacton-on-Sea y Swanscombe en Inglaterra y Terra Amata en Francia, por mencionar sólo los más conocidos y documentados, aparte ahora el de Arganda.

El elefante "de ancho hocico" –*platyrhynchus*–, como el *antiquus* de Europa central y oriental y el *naumanni* japonés, parecen no ser sino subespecies o razas geográficas del extendido *Palaeoloxodon namadicus.* El elefante "antiguo" de Europa ha sido considerado por los científicos como habitante de bosques de coníferas y propio de épocas de clima benigno –interglaciales–; pero sus principales yacimientos europeos corresponden más bien a interestadios o fases templadas en las glaciaciones del Pleistoceno Medio, Mindel y Riss. De hecho, se presenta en Europa en el interglacial anterior al Mindel, y sobrevive hasta entrada la última glaciación Würm. Se le ha llamado "elefante de los pinares", por hallarse en sedimentos con abundante polen de *Pinus.*

La raza española –la de ancho hocico– se encuentra en cambio en una época de aguda glaciación, adaptado a las grandes heladas y a un retroceso de los pinares y avance de la estepa fría en las parameras de Sierra Ministra. Era cazado, entonces, hace unos 400.000 años, al final del Mindel, en las semanas de estiaje, cuando las manadas de mamíferos libres remontaban las cabeceras de los valles en busca de agua y hierba frescas. El ocupante de Torralba había sido uno de los primeros seres en aprender a hacer fuego y servirse de él, fabricaba a la vez un instrumental, bastante complejo, mediante la ruptura de los grandes huesos de estos elefantes (E. A.)

La propagación de la mandioca

La mandioca, que recibe también los nombres de manioca, tapioca y yuca, es una planta tropical de raíces carnosas que constituye un alimento básico para millones de personas en el continente africano y en otras muchas partes del mundo. Se ha calculado que 200 millones de individuos obtienen más del 50 por ciento de su suministro calórico a partir de la mandioca. Esta no se ha explotado nunca hasta el máximo de su potencial debido a que tiene un contenido proteico bajo y se marchita rápidamente al poco de su recolección. De ahí que las investigaciones en la mejora de la misma sean muy recientes. Una muestra del éxito alcanzado en su control genético viene avalada por el International Development Research Centre, con sede en Ottawa, que invirtió 759.000 dólares en un programa de tres años para la implantación de cadenas regionales para la mejora y la explotación de la mandioca en América Latina y diferentes en Asia.

A lo largo de los últimos cuatro años, el International Development Research Centre (una institución pública creada y financiada por el gobierno canadiense, para la subvención de la investigación en el campo de la adaptación de la ciencia y la tecnología a las necesidades de los países en vías de desarrollo) y la Canadian International Development Agency destinaron unos cuatro millones de dólares al sector investigador de la mandioca.

Entre los resultados hay que contar la individuación en Colombia de variedades que producen más del triple del promedio nacional, el control de bacterias lesivas para las plantas, el aislamiento de estirpes resistentes a ciertas plagas de insectos y el desarrollo de métodos de perfeccionamiento para su transformación y almacenamiento. Aupado por el éxito obtenido, el International Development Research Centre decidió cubrir la etapa siguiente de establecer las redes interregionales.

Uno de los objetivos de las nuevas redes será proporcionar mayores disponibilidades para la formación de los investigadores y de los trabajadores en los 80 países en donde se cultiva la mandioca a gran escala. El programa contempla también la potenciación de los sistemas de producción y explotación de la mandioca, así como hacer llegar a los agricultores los últimos avances en mejora y rendimiento.



Los ciclos de la nutrición vegetal y animal

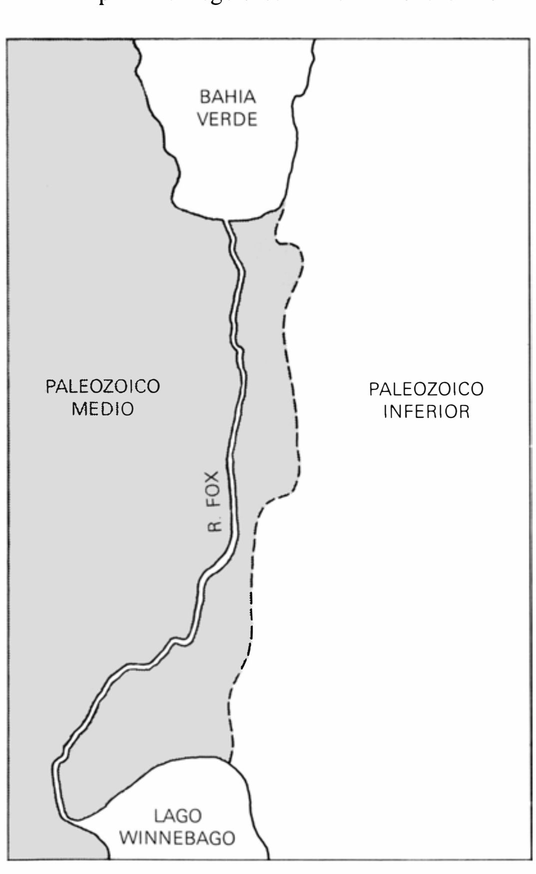
Los microorganismos, las plantas y los animales elaboran la energía y los nutrientes orgánicos para sostén del hombre. La agricultura asegura el suministro de alimentos al favorecer el desarrollo de aquellas otras especies

Jules Janick, Carl H. Noller y Charles L. Rhykerd

La nutrición de todas las formas de vida está necesariamente en equilibrio. La energía solar, absorbida por los vegetales fotosintéticos, pasa por una gran variedad de organismos y origina una vía larga y compleja que compromete a toda la biosfera. Al final, sin embargo, toda ella se irradia de nuevo al espacio; si no fuese así, aumentaría la temperatura de la tierra. De modo parecido, las sustancias inorgánicas del suelo, el agua y el aire son absorbidas por los vegetales fotosintéticos e incorporadas en las moléculas orgánicas, que se convierten en los nutrientes de los animales, de las plantas y de los microorganismos. Algunas de estas sustancias pueden almacenarse en formas inaccesibles durante largos períodos de tiempo, pero si el sistema biológico dado es estable, todas habrán de volver en algún momento al acervo de nutrientes vegetales.

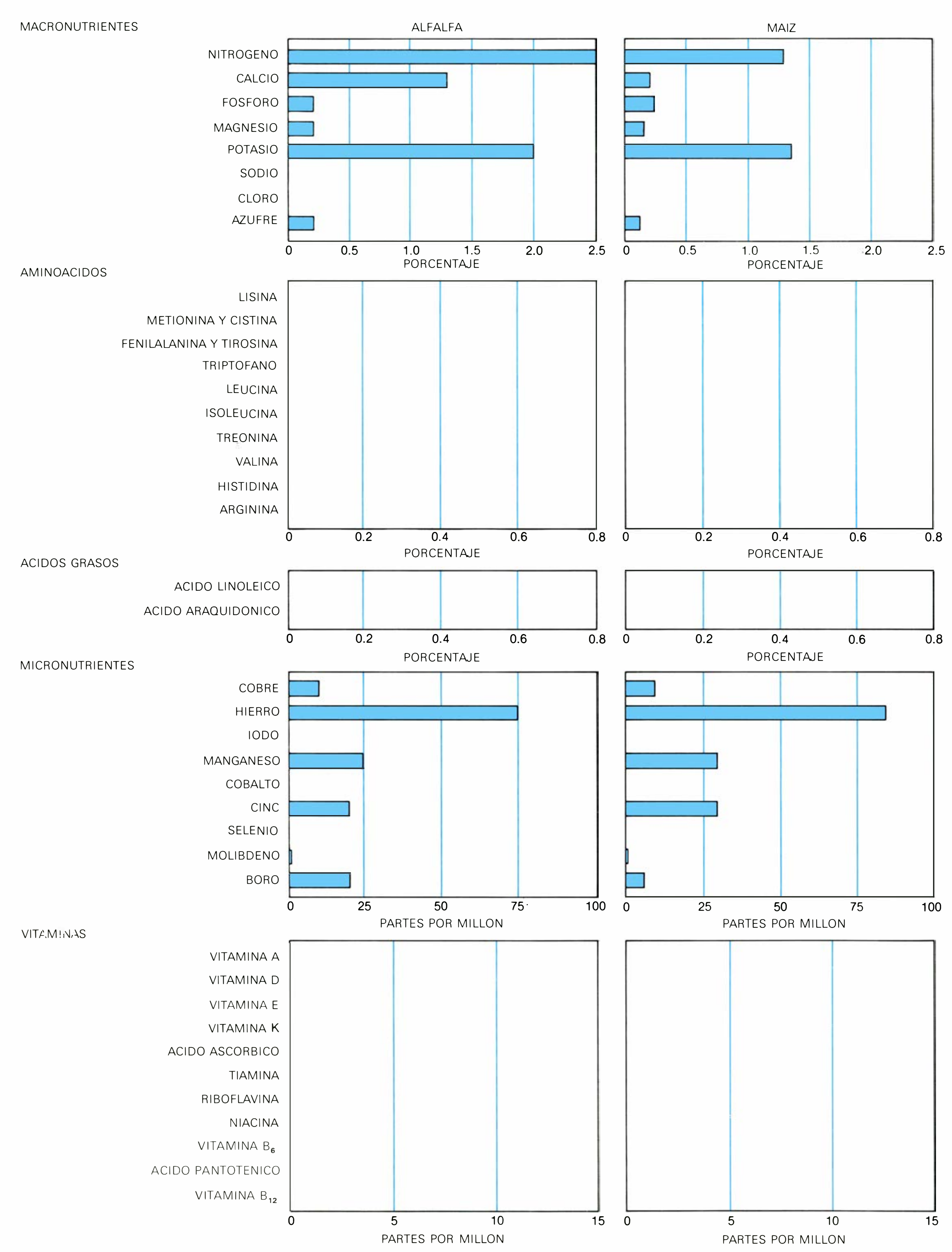
Dada la necesidad de equilibrio, el sistema biológico global puede considerarse como constituyendo un continuo flujo de energía y nutrientes a través de una red de ciclos entrelazados. La función de la agricultura es ordenar este flujo en beneficio de una sola especie. Las formas de la vegetación natural se reemplazan por variedades cultivadas, que se han seleccionado por su eficacia en la producción del sustento para el hombre. Los animales domésticos se fueron introduciendo con una finalidad similar. El tercer eslabón esencial en la cadena alimentaria –los microorganismos– viven todavía, principalmente, como especies silvestres, pero la tecnología agrícola puede intervenir también en esta parte del ciclo.

La ordenación del flujo de nutrientes a través del ciclo alimentario es el objetivo de todas las tecnologías agrícolas. El mérito de la agricultura moderna consiste en que ha aumentado la producción de alimentos al potenciar la velocidad a la cual los nutrientes fluyen a través del ciclo. Esto se ha verificado por diversos métodos, pero el más común, con mucho, y uno de los más importantes, estriba en acelerar el retorno de los nutrientes al suelo, en donde habrá de empezar su reabsorción. Así las cosas, y en orden a alimentar a la población humana, debemos asegurar la nutrición de un determinado conjunto de plantas, animales y microorganismos.

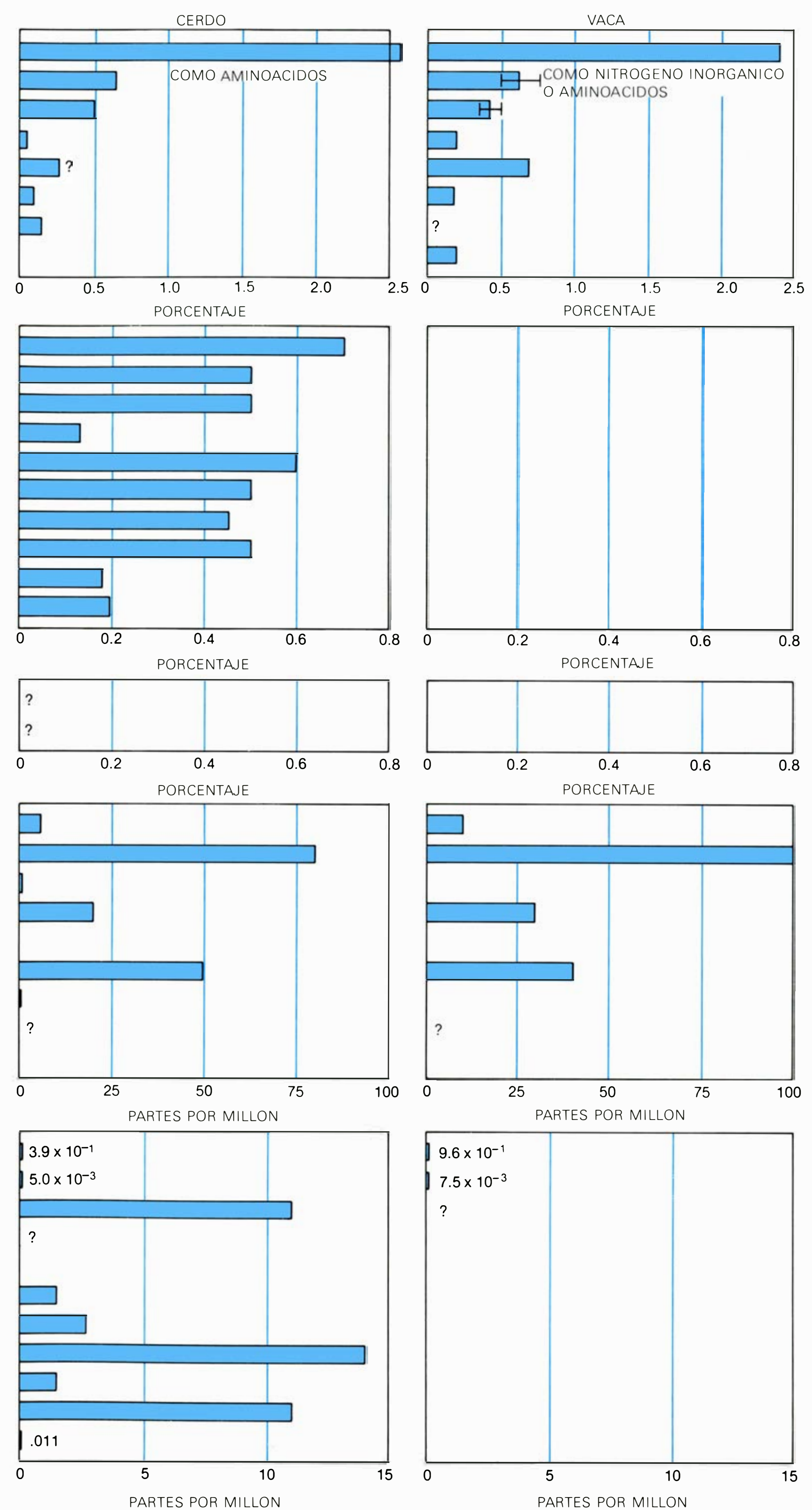


EL EQUILIBRIO ENERGETICO de la superficie terrestre queda sugerido por la imagen de la página opuesta, realizada por radiaciones en la zona del infrarrojo térmico del espectro electromagnético. La fotografía se obtuvo en agosto de 1973, desde una altura de unos 510 km, con un dispositivo del *Skylab 3*. Cubre la región que bordea Green Bay, en Wisconsin (Estados Unidos), detallada en el dibujo de la izquierda. La intensidad de la radiación térmica infrarroja emitida por una superficie depende principalmente de su temperatura. El nivel relativo de las emisiones se indica aquí por el color; en orden creciente de intensidad los colores son: blanco, rojo, verde, azul, amarillo, magenta y negro. El ancho cinturón de tierra que aparece en su mayor parte amarillo y magenta bordea el lago Michigan, que queda fuera de la imagen, limítrofe con el margen derecho de la misma. El amarillo y el magenta también predominan en el lago Winnebago y en Green Bay. La característica distintiva del paisaje es una brusca transición hacia emisiones térmicas más fuertes, que aparecen en negro. La transición corresponde a una frontera que separa regiones de diferente estructura y de distinta topografía. La zona amarilla y magenta corresponde a las tierras bajas y húmedas; la zona negra es más montañosa y más seca. Esta región es de intenso desarrollo agrícola. Toda la energía solar absorbida por la tierra vuelve al espacio, gran parte de la misma como radiación de longitud de onda perteneciente al infrarrojo térmico. La pequeña parte utilizada en la fotosíntesis circula a través de la cadena alimentaria antes de ser reirradiada.

La tierra capta una gran cantidad de energía solar, pero solamente una pequeña parte de la misma puede aprovecharse para las finalidades biológicas. Cerca de un 60 por ciento se refleja sin ulteriores interacciones, y una fracción considerable del resto es absorbida por la atmósfera o por los océanos y las ma-



MACRONUTRIENTES
ALFALFA
MAIZ
NITROGENO
CALCIO
FOSFORO
MAGNESIO
POTASIO
SODIO
CLORO
AZUFRE
0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
PORCENTAJE
AMINOACIDOS
LISINA
METIONINA Y CISTINA
FENILALANINA Y TIROSINA
TRIPTOFANO
LEUCINA
ISOLEUCINA
TREONINA
VALINA
HISTIDINA
ARGININA
0
0.2
0.4
0.6
0.8
PORCENTAJE
ACIDOS GRASOS
ACIDO LINOLEICO
ACIDO ARAQUIDONICO
0
0.2
0.4
0.6
0.8
PORCENTAJE
MICRONUTRIENTES
COBRE
HIERRO
IODO
MANGANESO
COBALTO
CINC
SELENIO
MOLIBDENO
BORO
0
25
50
75
100
PARTES POR MILLON
VITAMINAS
VITAMINA A
VITAMINA D
VITAMINA E
VITAMINA K
ACIDO ASCORBICO
TIAMINA
RIBOFLAVINA
NIACINA
VITAMINA B_6
ACIDO PANTOTENICO
VITAMINA B_{12}
0
5
10
15
PARTES POR MILLON



sas continentales, para ser radiada a su vez en forma de calor. En la escala de la energía planetaria total, la cantidad de luz solar absorbida por los vegetales verdes y almacenada en forma química es casi insignificante; no llega al 1 por ciento del total de la energía incidente y queda comprendida en la probabilidad del error computacional.

En las plantas, los pigmentos absorben la luz solar. Los pigmentos son moléculas cuyos colores brillantes significan que absorben con intensidad alguna parte del espectro visible. El pigmento más importante es la clorofila, que absorbe las radiaciones rojas y azules, pero hay también varios más que se hallan en casi todas las plantas; la unión de todos ellos posibilita el uso de casi todas las longitudes de onda de la zona visible del espectro.

La energía solar absorbida se emplea por la planta para cumplir una compleja secuencia de reacciones químicas cuyo efecto resultante es transferir dos átomos de hidrógeno de una molécula de agua a otra de dióxido de carbono. Los productos de la reacción son oxígeno libre, que es emitido a la atmósfera, y glúcidos, que son compuestos constituidos por carbono, hidrógeno y oxígeno. La energía de estos productos es mayor que la del dióxido de carbono y el agua. La energía añadida puede así recuperarse y desarrollar un trabajo. Y ello puede lograrse del modo más simple recombinando el oxígeno y los glúcidos; este proceso, que es el de la respiración, constituye el principal mecanismo de obtención de energía por parte de la inmensa mayoría de los organismos.

El carbono que ha pasado a forma orgánica a través de la fotosíntesis se denomina carbono fijado. Parte del mismo se utiliza inmediatamente para cubrir las necesidades metabólicas de la planta, entre las cuales se encuentra la síntesis de otras moléculas esenciales, como los aminoácidos para construir las proteínas. El resto del carbono fija-

LOS REQUERIMIENTOS NUTRITIVOS de los vegetales y de los animales son fundamentalmente distintos. Los requerimientos nutritivos de los vegetales pueden expresarse por una lista de elementos, mientras que en el caso de los animales se requiere una mayor complejidad: moléculas orgánicas tales como aminoácidos (los constituyentes de las proteínas), ácidos grasos y vitaminas, además de los minerales. Los rumiantes forman un caso aparte, ya que muchos de sus requerimientos nutritivos pueden satisfacerse por la actividad sintética de los microorganismos de la panza. Además de los nutrientes expuestos, todos los organismos necesitan carbono, hidrógeno y oxígeno.

do suele almacenarse en forma de polisacáridos, los cuales son macromoléculas constituidas principalmente por unidades simples de azúcar (monosacáridos) unidas entre sí. Con mucho, el polisacárido más común en las plantas es la celulosa, el material fibroso responsable de la rigidez e integridad estructural de las hojas y los tallos. Las reservas energéticas para la planta y sus rebrotes vienen proporcionadas a menudo por otro polisacárido, el almidón, almacenado en semillas y órganos especializados como tubérculos, rizomas, bulbos y otras partes del cormo. Los animales obtienen casi toda su energía, directa o indirectamente, de la descomposición de estos dos polisacáridos. La celulosa y el almidón están estrechamente relacionados; constan ambos de largas cadenas del monosacárido glucosa. Difieren entre sí solamente en la geometría de los enlaces que ligan las unidades de glucosa. Esta pequeña diferencia estructural comporta, sin embargo, grandes diferencias en las propiedades físicas de las dos moléculas y en su viabilidad como constituyentes de las dietas animales.

Las plantas verdes capturan la energía solar con una eficacia que oscila entre el 15 y el 22 por ciento, lo cual supera el rendimiento de la conversión energética de muchas tecnologías industriales. La energía representada por el carbono fijado pasa a través de la cadena alimentaria cuando los materiales vegetales son consumidos por otros organismos. En cada transición se pierde una parte de la energía; en algunos casos la porción mayor. Deben consumirse cincuenta mil kilogramos de algas marinas, a través de la cadena alimentaria, para producir medio kilogramo de bacalao. El resto de la energía de las algas se disipa, principalmente en forma de calor. El bacalao, a su vez, acabará muy pronto por reducirse a calor y a unas cuantas sustancias de bajo rendimiento energético: dióxido de carbono, agua y minerales.

Esta enorme pérdida de energía puede parecer un derroche, pero no afecta al problema de la alimentación de la población humana. La producción anual de carbono fijado por las plantas verdes, continentales y marinas, bordea las 15×10^{10} toneladas; el consumo humano viene a ser de unos 118 kilogramos por persona. Así, la energía capturada por las plantas supera en mucho a las necesidades humanas; si toda ella se dirigiera a la nutrición humana, podría abastecer a una población de 1,15 billones, más de 280 veces la población actual. El suministro de alimento no está, pues, limitado por la escasez de luz solar.

La cantidad de energía que interesa en los cálculos de la eficacia agrícola es la energía que debe ser suministrada por el hombre para concentrar y extraer nutrientes. En condiciones naturales, la vida vegetal suele hallarse distribuida muy dispersamente y sólo puede aprovecharse directamente por el hombre una mínima parte de la materia orgánica disponible. El recurso intermediario de la ganadería de forrajes o hierba segada es un escalón poco eficaz en la conversión de la luz en alimento humano. Ahora bien, cuando la cantidad de vida vegetal disponible está dispersa y consiste principalmente en hierbas y otras especies de alto contenido en fibras, el buey cosecha los nutrientes por sí mismo, con sólo un aporte energético mínimo por parte del hombre. Casi todo el producto final –la carne– representa una ganancia neta.

Pocos hábitat son tan ásperos que no pueda crecer nada en ellos; las regiones árticas y alpinas tienen sus flores silvestres de corta talla, y en las mismas aceras de las ciudades luchan por sobrevivir las plantas rastreras. En tales circunstancias, las plantas aprovechan muy bien los escasos nutrientes. La agricultura, sin embargo, resulta beneficiosa únicamente allí donde pueden desarrollarse con un alto rendimiento las plantas que suponen algún valor para el hombre. Si se quiere lograr una producción agrícola abundante, habrá que aportar todos los nutrientes necesarios en cantidades teóricamente óptimas.

Comparadas con las complicadas necesidades nutritivas del hombre y de los demás animales, las necesidades de los vegetales resultan bastante simples. Las plantas subsisten enteramente con materiales inorgánicos, e incluso con un número reducido de ellos. Los nutrientes más importantes son el dióxido de carbono, el oxígeno y el agua; estas substancias se requieren en cantidades muy elevadas, hasta el punto de considerárselas frecuentemente como una categoría aparte respecto a los demás nutrientes. El dióxido de carbono y el oxígeno se hallan universalmente disponi-

EL SUELO es la principal fuente de nutrientes para los vegetales y la sede de un gran número de importantes transformaciones en el ciclo de los alimentos. Los constituyentes inorgánicos del suelo, producidos por meteorización de la roca y por la cristalización de los minerales, se clasifican por su textura en arcilla, limo, arena y grava. Un componente adicional de gran importancia es la materia orgánica denominada humus. La arcilla y el humus son coloides cuyas partículas tienen una amplia área superficial; absorben fácilmente los nutrientes y los retienen hasta su posterior absorción por las raíces. Una sección vertical del suelo revela generalmente una secuencia de estratos. El estrato *A* corresponde a lo que se denomina capa superficial del suelo.

bles (al menos para las plantas terrestres) y en condiciones rurales nunca caen probablemente en niveles tan bajos que impidan el crecimiento. El agua es también una fuente abundante, aunque su distribución es menos uniforme. La relación entre los recursos hídricos y el crecimiento vegetal se entendió seguramente desde antes de nacer la agricultura. El agua suele ser un factor limitante del crecimiento, y la corrección de su escasez mediante el riego puede producir beneficios espectaculares.

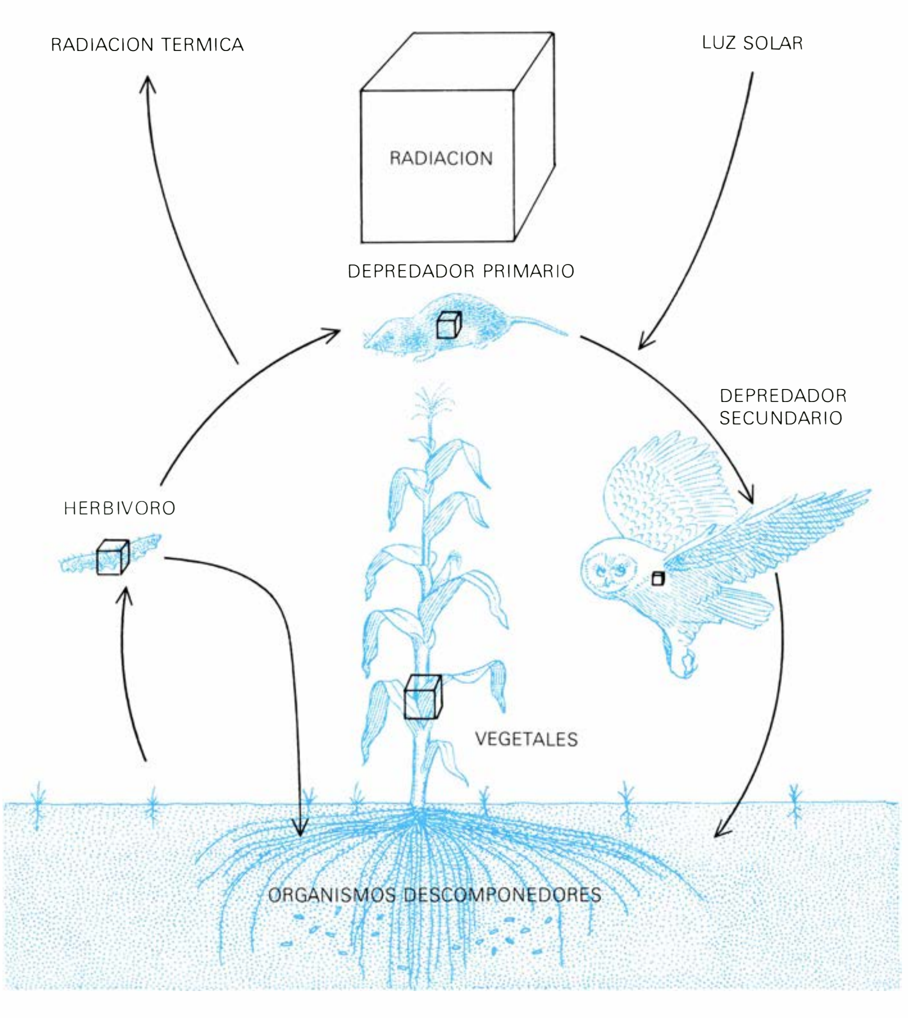
En total, se conocen 16 elementos necesarios para el crecimiento de los vegetales. El aire y el agua aportan el carbono, el oxígeno y el hidrógeno. Además de estos tres elementos, se requiere nitrógeno, potasio y calcio, en cantidades apreciables. Los restantes nutrientes se necesitan en menor proporción; algunos de los cuales solamente se exigen en cantidades traza. Nos referimos a los siguientes elementos: fósforo, magnesio, azufre, manganeso, boro, hierro, cinc, cobre, molibdeno y cloro.

Todos los nutrientes deben absorberse del suelo, excepto el carbono, el hidrógeno y el oxígeno. La nutrición de las plantas depende, por lo tanto, de la capacidad que tenga el suelo para almacenar elementos esenciales y para hacerlos disponibles en un sentido biológicamente activo. Muchos de los fenómenos más importantes en lo concerniente al crecimiento de la cosecha ocurren bajo el suelo; en consecuencia el suelo ocupa una posición central en varios ciclos biológicos.

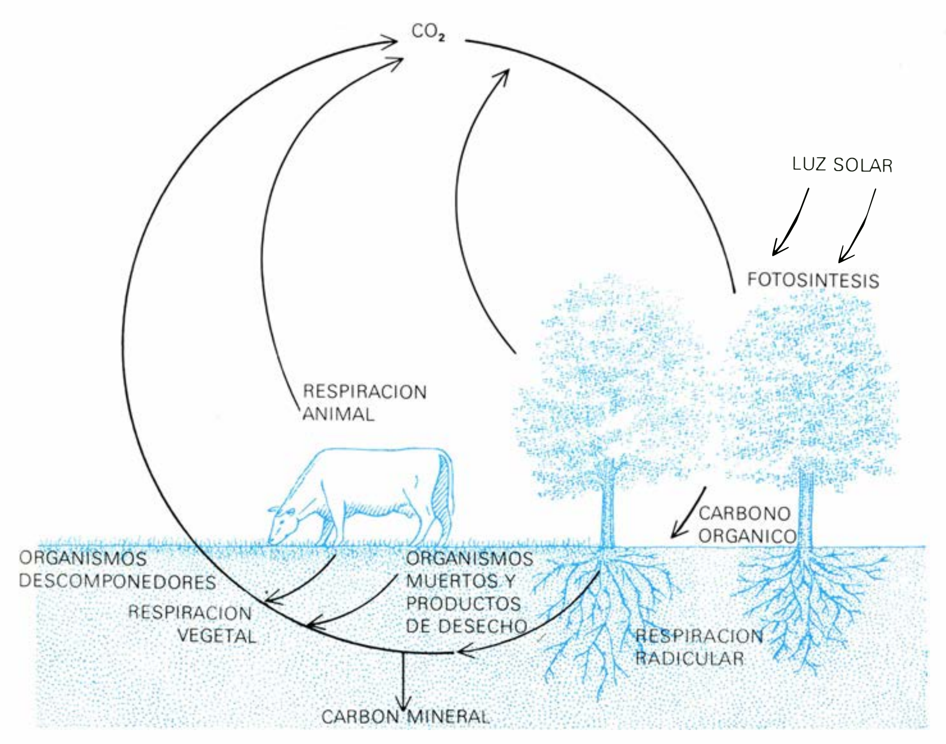
El suelo se forma por meteorización y desintegración de las rocas y por la síntesis de minerales cristalinos y amorfos. La actividad biológica altera también el carácter y la composición del suelo. El proceso de la formación del suelo es continuo y evolutivo. La sección vertical de muchos suelos revela una secuencia de estratos o capas; en la superficie puede existir un mantillo, bajo el que se encuentra una capa rica en materia orgánica, llamada muchas veces capa superficial del suelo, y, debajo de ésta, el subsuelo; por último, la roca madre en diferentes fases de meteorización. El perfil del suelo es el documento histórico que registra la sucesión de los procesos que han contribuido a su desarrollo.

En razón del tamaño de sus partículas, los componentes minerales del suelo se clasifican en arcilla, limo, arena y grava. Existe además, un importante constituyente orgánico, el humus, formado por los residuos resistentes a la descomposición, como las ligninas, ceras, grasas y algunos materiales proteicos. El humus tiene una influencia profunda en las propiedades físicas y químicas del suelo. Las partículas gruesas de limo, arena y grava tienen propiedades afines, a grandes rasgos, a las propiedades de las rocas, de las que han derivado. La arcilla y el humus, sin embargo, son coloides o suspensiones de finas partículas microscópicas; se trata de los componentes más activos del suelo. Se hallan particularmente bien adaptados a la retención de los nutrientes minerales.

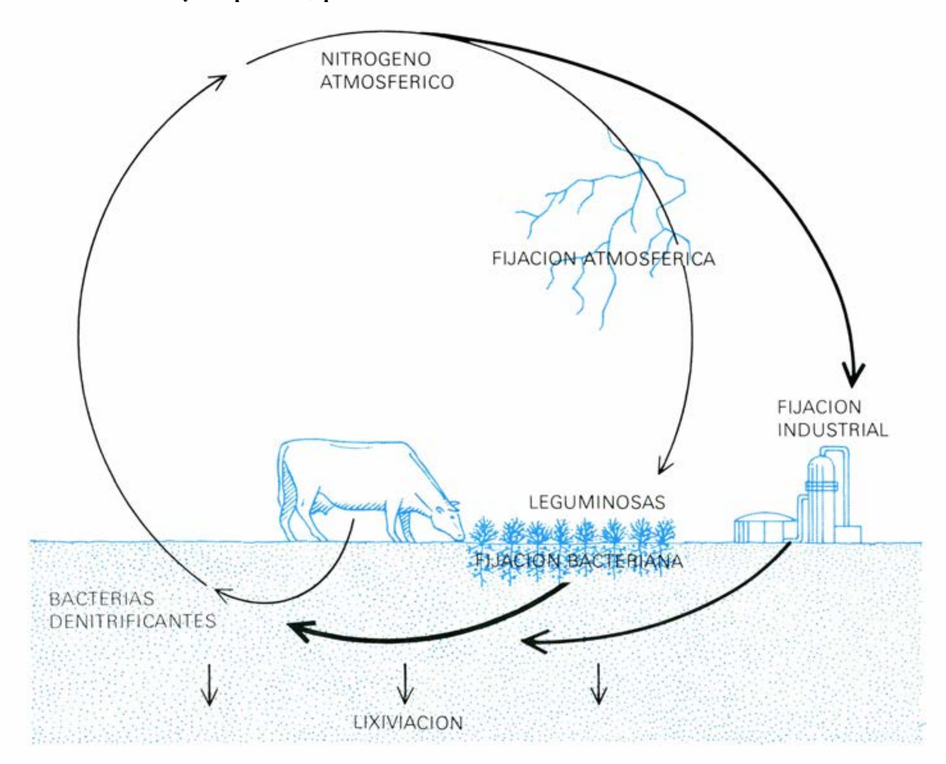
La textura y la estructura de un suelo importan a la hora de determinar su conveniencia para la agricultura. La textura está, principalmente, en función del tamaño de la partícula, el cual, a su vez, determina el tamaño de la separación entre las partículas. Los suelos arenosos tienen poros amplios; como resultado de lo cual, el agua tiende a escurrirse rápidamente a través de los mismos; de este modo, además de perderse el agua para las raíces, los nutrientes solubles se arrastran hacia abajo. Los poros muy finos de los suelos arcillosos retienen el agua por acción capilar, proporcionando el medio acuoso que se hace esencial para el transporte de nutrientes. En el caso extremo, los suelos muy arcillosos están permanentemente saturados, bloqueando la aireación de las raíces. Los suelos más productivos son aquellos que tienen una estructura muy fina, que se desarrolla cuando las pequeñas partículas coloidales cementan con materiales orgánicos, en particular, los exuda-



EL CICLO DE LA ENERGIA en la biosfera se establece gracias a la actividad fotosintética de las plantas verdes. Las plantas emplean la energía solar para convertir los nutrientes inorgánicos en compuestos orgánicos ricos en energía, principalmente glúcidos y proteínas. Casi todos los demás organismos mantienen su actividad vital descomponiendo los productos de la fotosíntesis en sus constituyentes simples. Todos los animales, por ejemplo, dependen por completo, de la vida vegetal para su nutrición, directamente en el caso de los herbívoros, indirectamente en el caso de los depredadores primarios y secundarios. Por último, los productos de desecho y los tejidos muertos de las plantas y de los animales constituyen la dieta de los organismos degradadores, que extraen la energía residual disponible de estos materiales y los revierten a la forma inorgánica. Las cantidades relativas de energía radiante recibida por la tierra y devuelta al espacio y la biomasa de los distintos organismos de la cadena alimentaria se simbolizan por el volumen de los cubos.



EL CICLO DEL CARBONO comprende dos procesos competitivos: fotosíntesis y respiración. Durante la fotosíntesis las plantas convierten el dióxido de carbono y el agua en glúcidos y oxígeno libre. Este último conjunto de sustancias representa un depósito rico en energía que es utilizado en la respiración, en la que los glúcidos y el oxígeno se combinan para producir aerobios, utilizado en la respiración, en la que los glúcidos y el oxígeno se combinan para producir dióxido de carbono y agua. La respiración es común a todos los organismos aerobios, los cuales contribuyen al retorno del anhídrido carbónico a la atmósfera. Parte del carbono queda retenido en minerales como el carbón y el petróleo, pero vuelve al ciclo cuando éstos se utilizan como combustible.



EL CICLO DEL NITROGENO moviliza la circulación de este nutriente que es, a menudo, un factor limitante del crecimiento de las plantas; el elemento puede ser suministrado en forma "fijada" o combinado formando iones amonio (NH_4^+) o iones nitrato (NO_3^-). Una pequeña parte del nitrógeno se fija por descargas eléctricas y otros procesos atmosféricos, pero la contribución más importante la verifican las bacterias, particularmente las que viven simbióticamente en los nódulos radicales de las leguminosas. Sin embargo, el nivel disponible en muchos suelos permanece bajo. El elemento es movilizado por lixiviación y por bacterias que lo devuelven a la atmósfera, y se pierde con la recolección de las cosechas. Por ello, se abona el suelo con nitrógeno fijado industrialmente; esta fijación ha pasado a ser el componente mayoritario del ciclo del nitrógeno.

dos de microorganismos. Tales suelos se hallan bien aireados y poseen una gran capacidad de retención del agua.

La característica más importante de las partículas coloidales de arcilla y humus es su capacidad de adsorber iones. Los coloides tienen un área superficial muy elevada en relación con su volumen; en la arcilla, el área superficial alcanza los 800 metros cuadrados por gramo. Por otra parte, las partículas poseen carga eléctrica negativa y, por tanto, atraen a su superficie cationes o iones cargados positivamente. De este modo, los nutrientes, que se perderían por lixiviación, se retienen en reserva para su posterior uso por las plantas.

Los cationes no están rígidamente enlazados con las partículas coloidales y pueden ser desplazados por otros iones. Si todos los iones se encuentran en igual concentración, los iones sodio quedan reemplazados por los iones potasio y éstos, a su vez, reemplazados por los iones magnesio. Los iones calcio desplazan al magnesio y, por último, los hidrogeniones reemplazan al calcio. Los iones hidrógeno se desprenden continuamente, a medida que el dióxido de carbono se disuelve en el agua del suelo y pasa a formar ácido carbónico; el dióxido de carbono es liberado por la respiración de las raíces vivas y por la degradación biológica de los glúcidos. La liberación constante de iones hidrógeno promueve el intercambio de cationes, haciéndolos disponibles para el crecimiento vegetal. El suministro de los demás cationes se logra por la descomposición de las rocas y la degradación de la materia orgánica. En un contexto agrícola, la concentración de todos los cationes puede verse alterada por la aplicación de fertilizantes. Sigue vigente, sin embargo, la importancia de la arcilla y el humus para el almacenamiento y la disponibilidad de nutrientes que han de abastecer a las raíces.

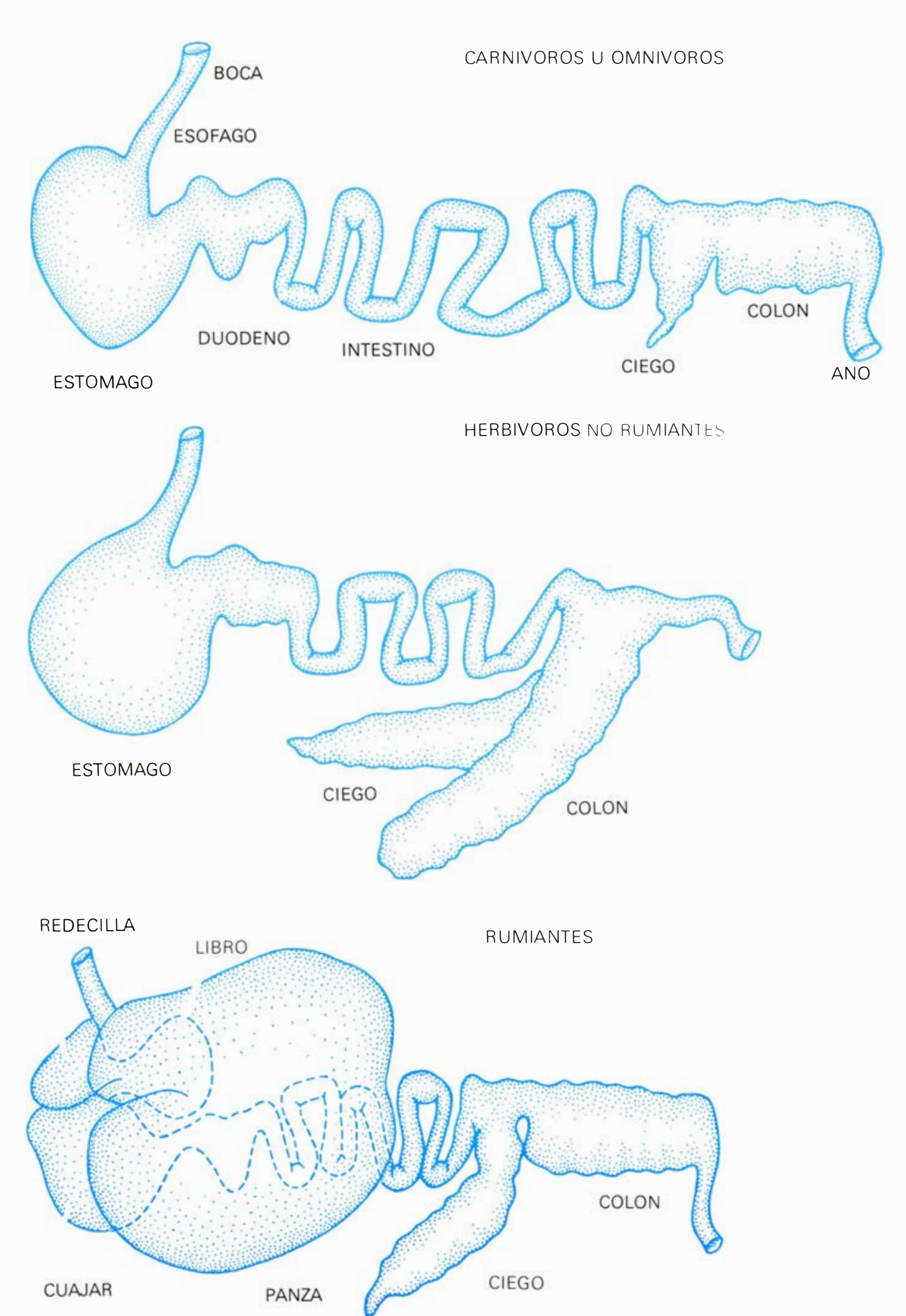
La capacidad de intercambio catiónico de un suelo depende de la cantidad de humus y arcilla presentes y de la composición de la arcilla. La arena es relativamente inerte y los suelos arenosos, pobres en materia orgánica, mínimamente reactivos y estériles, si bien pueden hacerse productivos por fertilización y riego. El limo es ligeramente más reactivo que la arena pero suele serlo mucho menos que la arcilla. Las arcillas difieren entre sí, por un factor de 10, en su capacidad de intercambio catiónico; el humus puede ser dos veces más reactivo

que las más reactivas de las arcillas. Por cuya razón, el humus desempeña en la nutrición vegetal un papel desmesurado si lo comparamos con las modestas cantidades del mismo que se encuentran en la mayoría de los suelos.

El suelo tropical húmedo tiende a una producción baja; sus arcillas tienen una escasa capacidad de intercambio catiónico y no se acumula humus debido a que las altas temperaturas de los climas ecuatoriales condicionan una descomposición rápida de la materia orgánica. El problema se agrava con la copiosa precipitación que limpia de nutrientes el suelo. La exuberante vegetación de los trópicos húmedos hace suponer un gran potencial agrícola; en realidad la fertilidad de su suelo es muy baja. Las plantas de la selva húmeda realizan su lujurioso crecimiento porque están adaptadas a su hábitat y absorben rápidamente los nutrientes liberados por la materia orgánica en descomposición, antes de que sean arrastrados o lixiviados en profundidad. Este equilibrio es frágil. La aplicación directa de las prácticas agrícolas de la zona templada a los climas tropicales raramente tiene éxito, porque se rompe el ciclo de los nutrientes y decae ostensiblemente la productividad.

El pH del suelo condiciona poderosamente el crecimiento de las plantas. Los suelos anormalmente alcalinos (cuyo pH es igual o superior a 9) y los suelos muy ácidos (con un pH igual o inferior a 4) son, por sí mismos, tóxicos para las raíces. Cuando el valor del pH se halla entre estos extremos, su efecto directo sobre la mayoría de las plantas es menor, pero su incidencia indirecta en la disponibilidad de los nutrientes puede ser enorme. El fósforo, por ejemplo, se hace insoluble, no asimilable, por consiguiente, si el suelo es muy ácido o muy alcalino. El pH también afecta a los organismos del suelo, particularmente a las bacterias. La acidez elevada, que es típica de las regiones húmedas, inhibe la fijación del nitrógeno y los procesos de descomposición. Los suelos ácidos pueden ser neutralizados con la aplicación de caliza (roca formada por carbonato cálcico y carbonato magnésico); la excesiva alcalinidad, que es típica de las zonas áridas, puede corregirse por la aplicación de fertilizantes en forma ácida o por lavado, que arrastra el exceso de sales.

Un último componente del suelo, que no debe olvidarse, es la población indígena de organismos. El volumen de una extensión de suelo fértil de una Ha de superficie y 30 cm de profundidad puede contener más de 7,5 Tm de materia viva, a saber: bacterias, hongos, protozoos, algas, nemátodos, gusanos e insectos. Estos organismos son los responsables de la descomposición de la materia orgánica en nutrientes simples que podrán absorber las raíces de las plantas. Los microorganismos se alimentan de los restos de animales y plantas y éstas, a su vez, se nutren de los produc-



LA ANATOMIA DEL TRACTO DIGESTIVO es el principal determinante de la dieta animal: en particular, establece si un animal puede obtener o no alimento de la celulosa, el producto vegetal más abundante. La digestión de la celulosa depende de enzimas secretados por ciertas bacterias. En animales con estómagos simples, cual es el caso de carnívoros como el perro y omnívoros como el hombre y el cerdo, las bacterias apropiadas se encuentran sólo en el ciego y el colon, y el alimento pasa demasiado rápidamente a través de estas estructuras, como para que la digestión sea eficaz. En herbívoros no rumiantes, como el caballo, el ciego y el colon están más altamente desarrollados, pero el tiempo de residencia es todavía limitado y algunos nutrientes requeridos por las bacterias han sido ya eliminados anteriormente en el tracto, de modo que la digestión de la celulosa es ineficaz. En los rumiantes, como la vaca, la degradación bacteriana de la celulosa se verifica en la parte anterior del tracto digestivo, en la panza. Toda la longitud del intestino, ciego y colon, queda, por consiguiente, disponible para la absorción de los nutrientes.

tos de excreción o descomposición de los microorganismos. La fauna y los microorganismos del suelo ayudan también a mantener la estructura y la aireación del mismo.

A mediados del siglo XIX, Justus von Liebig formuló su ley del mínimo, que establece que el crecimiento vegetal está condicionado por la disponibilidad del nutriente que sea más escaso. De ahí que sirva de poco regar una cosecha que está limitada por la carencia de nitrógeno; si la deficiencia de nitrógeno se corrige, cualquier otro nutriente puede pasar a convertirse en factor limitante. La estrategia de la agricultura debe ser proporcionar todos los nutrientes en cantidades adecuadas y en proporciones óptimas.

El elemento limitante suele ser el nitrógeno. Por ser un constituyente de todas las proteínas y de otras muchas moléculas biológicas, se requiere en cantidades bastante elevadas. Además, se pierde mucho nitrógeno del suelo por lixiviación, erosión, acción de los microorganismos y por las mismas plantas. En la mayoría de los suelos, suele disponerse de muy poco en forma directa.

El nitrógeno es el constituyente principal de la atmósfera; la columna de aire situada sobre una Ha de tierra contiene 85 millones de kg del mismo, aproximadamente. Esta forma de nitrógeno, sin embargo, no es aprovechable para la mayoría de las plantas; para ser biológicamente activo, el nitrógeno debe "fijarse" por combinación con otros elementos. En la naturaleza, la fijación del nitrógeno se realiza en el suelo, y de ello se encargan principalmente las bacterias. Las más eficaces de las cuales son simbióticas, es decir, fijan el nitrógeno sólo en asociación con las raíces de las leguminosas y de algunas plantas tropicales.

El nitrógeno del suelo se encuentra abundantemente en la materia orgánica que está en diversas fases de descomposición, pero las plantas no pueden disponer de él en tanto no se convierta en ion amonio (NH_4^+) o iones nitrato (NO_3^-). La ruta cíclica del nitrógeno que parte de su forma elemental, pasa a constituir los aminoácidos, las proteínas y la degradación de éstas nos lleva a la forma elemental, es el ciclo nutritivo más intensamente estudiado. Gran parte de la nutrición animal y vegetal depende de la disponibilidad de compuestos que contengan nitrógeno.

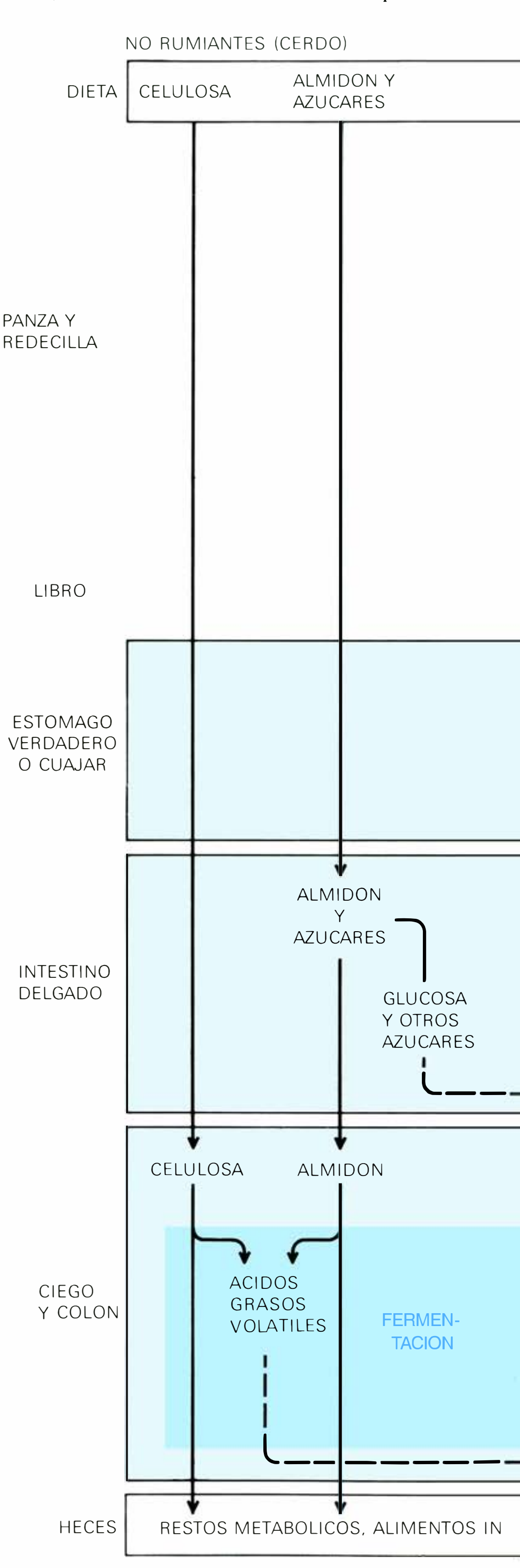
La degradación de las proteínas en aminoácidos ocurre en el suelo por acción de las bacterias que utilizan para su propio crecimiento la energía liberada de este proceso. Sólo después de la muerte y desintegración de estos organismos queda el nitrógeno disponible para las raíces.

La degradación posterior de los aminoácidos en compuestos de nitrógeno inorgánico se realiza en varias etapas, realizada cada una de ellas por un grupo específico de bacterias. Primero, los iones amonio se liberan de los aminoácidos; luego los iones amonio libres se convierten en iones nitrito (NO_2^-) y, por último, en iones nitrato (NO_3^-). Las bacterias que producen nitritos y nitratos son autótrofas y aerobias, es decir, no precisan nutrición orgánica, pero requieren oxígeno. Por tanto, están condicionadas por la aireación del suelo, la temperatura y la humedad.

Tal como ocurría con la conversión del nitrógeno en una forma en la que pueda ser asimilado, la eliminación del nitrógeno del suelo también es, principalmente, un proceso biológico. Gran parte del mismo se incorpora a las plantas, y una vez cosechada la siembra, la pérdida del mismo es continua. El nitrógeno fijado se separa también del acervo de nutrientes por obra de ciertas bacterias del suelo, las cuales convierten los nitratos en nitrógeno atmosférico. Este proceso es anaerobio, es decir, puede desarrollarse solamente en ausencia de oxígeno. De este modo, la falta de una aireación adecuada ocasiona la pérdida del nitrógeno disponible. Además, los nitratos son fácilmente solubles en agua; si los microorganismos o las plantas superiores no los aprovechan, pueden perderse por lixiviación. El nivel de nitrógeno disponible, depende, por lo tanto, de la cantidad de materia orgánica del suelo, de la población de microorganismos y de la intensidad de la lixiviación.

En condiciones naturales, no agrícolas, se llega a un equilibrio entre la tasa de crecimiento vegetal y las fuerzas que afectan al aporte de nitrógeno en el suelo. En muchos sistemas agrícolas, sin embargo, este equilibrio se altera. La recolección de una cosecha tiende a agotar la cantidad de nitrógeno, debido al acto de arrancar o segar la planta, al aumento de la erosión y a la disminución de la concentración de materia orgánica en el suelo. Por cuyas razones, el cultivo intensivo depende del suministro de abonos nitrogenados.

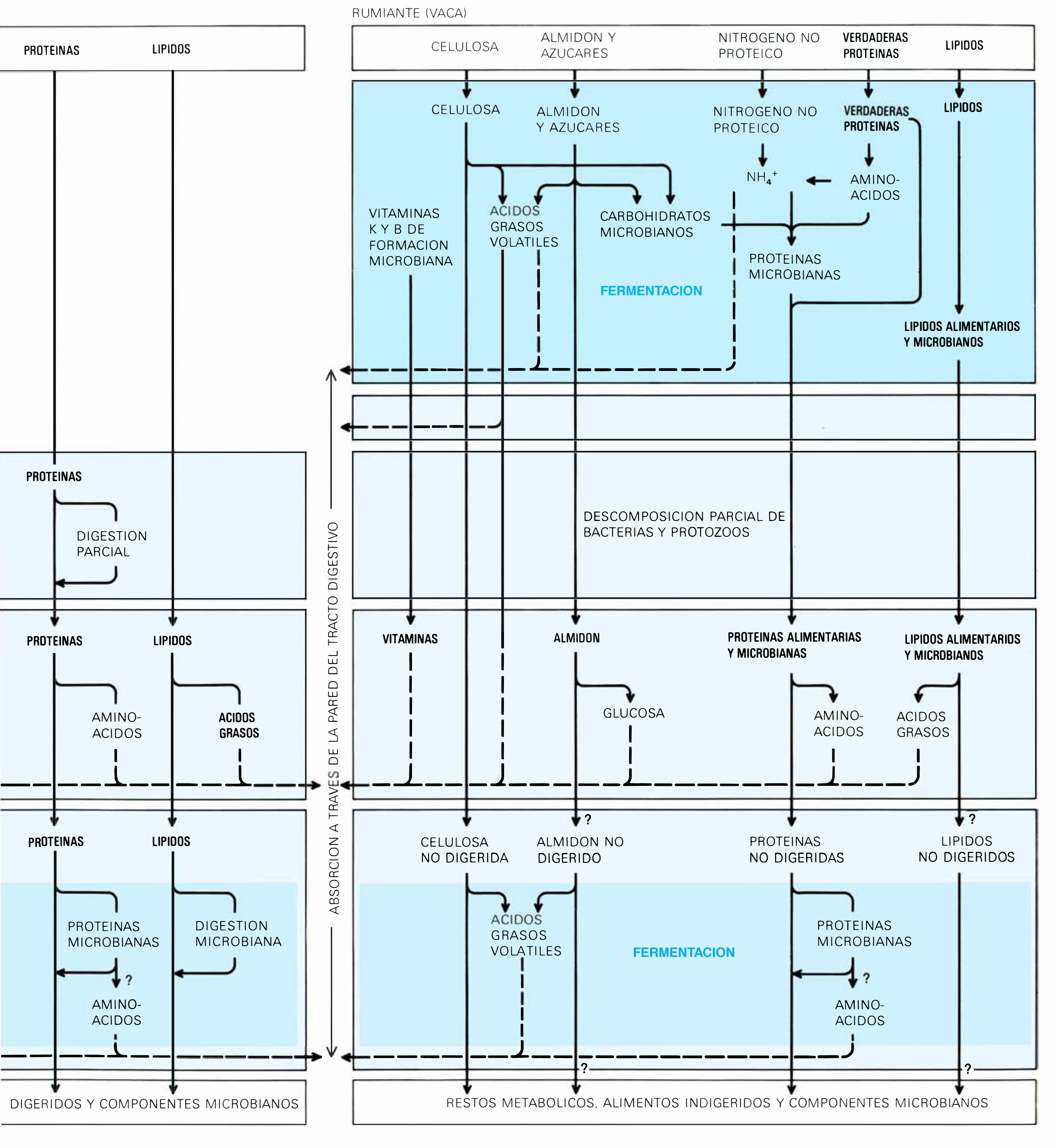
Tradicionalmente, los abonos nitrogenados se extraían de fuentes orgánicas, particularmente estiércol animal, como el guano, que es una materia excrementicia de aves marinas. Posteriormente, los suministros comprendían nitrato sódico, explotado en Chile, y sulfato amónico, un derivado de los hornos de coque.



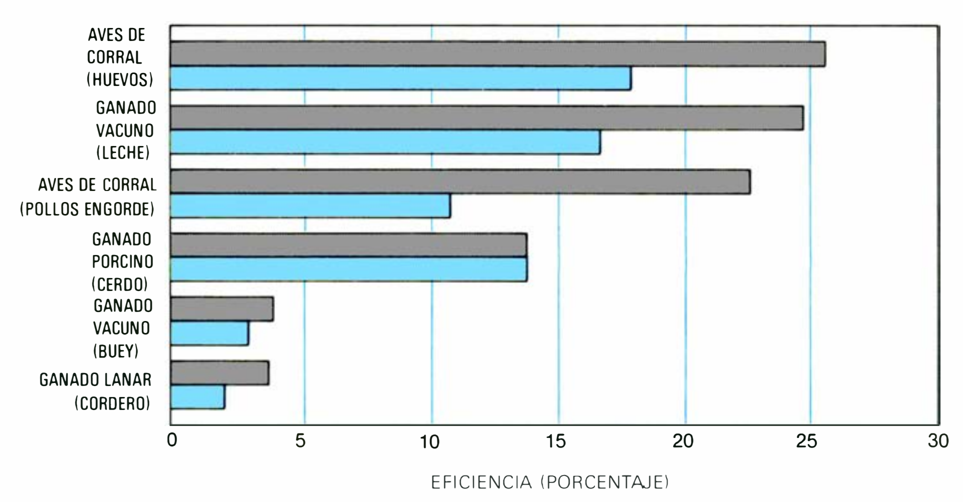
LA ESTRATEGIA DIETETICA de los rumiantes y de los no rumiantes difiere marcadamente. Los no rumiantes asimilan simple-

Actualmente, la mayoría de los fertilizantes nitrogenados se sintetizan por el proceso de Haber, por el que el nitrógeno atmosférico reacciona con el hidrógeno para formar amoníaco. El amoníaco puede aplicarse directamente o bien emplearse como materia prima para la fabricación de urea, nitratos y otros compuestos nitrogenados.

El hidrógeno requerido para la síntesis de Haber se obtiene generalmente del gas natural, y el coste de este combustible condiciona el coste de los abonos nitrogenados industriales. La síntesis de una tonelada de amoníaco anhidro re-



mente la porción digerible de su dieta y excretan el resto. Los rumiantes pierden una parte de su alimento de la que se sustenta la flora bacteriana interna. Los productos de desecho y los productos de descomposición de las bacterias pueden ser, ambos, absorbidos como nutrientes. La digestión de los rumiantes no es más eficaz que la de los no rumiantes pero, al descomponer la celulosa, se hace con otro nuevo nutriente.



LA EFICACIA DE LA GANADERIA mide el porcentaje de la proteína bruta de la dieta y la energía, convertida en productos comestibles para el hombre. Los mayores rendimientos de la conversión de ambas, proteínas *(barras grises)* y energía *(color)*, se encuentran en la producción de huevos y leche. El ganado vacuno y el lanar, criados para la matanza, tienen una eficacia baja, pero como sus dietas se hallan compuestas, en su mayor parte, por materiales no comestibles para el hombre, su producción representa una ganancia neta para la nutrición humana.

quiere 810 metros cúbicos de gas natural. Por lo tanto, por medio de la fijación industrial del nitrógeno, los combustibles fósiles entran directamente en el ciclo de los nutrientes; su coste se compensa con el incremento de la cosecha gracias a la fertilización.

La probabilidad de que se provoque una limitación en el crecimiento por parte de los restantes elementos nutritivos es menor, pero ello no significa que sean menos importantes. En muchos casos, la cantidad requerida es pequeña; pero su necesidad es absoluta. El fósforo es un constituyente de los ácidos nucleicos y de varias moléculas implicadas en el transporte de energía, y se requiere sólo en pequeñas cantidades. Los vegetales secos contienen cerca del 2 por ciento de nitrógeno y solamente un 0,2 por ciento de fósforo. A pesar de lo cual, la mayoría de los suelos son incapaces de suministrar suficiente fósforo para un desarrollo máximo. El fósforo, al contrario que el nitrógeno, es relativamente estable en el suelo y su pérdida por lixiviación es despreciable; por otra parte, la disponibilidad del fósforo depende del pH del suelo. El abono fosfatado suele aplicarse en forma de "superfosfatos", obtenidos por tratamiento de fosfato de roca con ácido sulfúrico o ácido fosfórico.

El potasio se requiere en bastante cantidad, aunque su función exacta en la fisiología vegetal no está aún bien determinada. Se encuentra disponible como ion intercambiable adsorbido en los coloides del suelo. Los suelos que contienen relativamente poco humus suelen ser ricos en potasio, en forma insoluble y, por lo tanto, inaprovechable. Los suelos orgánicos son normalmente deficientes en potasio. De aquí que muchas veces haya que fertilizarlos; el abono más importante es el de cloruro potásico.

El contenido en calcio de las plantas varía según las especies (es bajo en las gramíneas y alto en las leguminosas) pero el calcio es raramente un nutriente deficitario. Los efectos colaterales del calcio en el suelo, sin embargo, son numerosos, por lo que habrá que corregir frecuentemente su concentración. Este elemento influye en la actividad de los microorganismos, en el pH y en la absorción de iones. El calcio se presenta en el suelo como forma soluble en agua, como catión intercambiable, combinado formando minerales insolubles, tales como feldespato, hornablenda y calcita.

El magnesio, constituyente de la molécula de clorofila, se absorbe en las raíces en forma iónica. Se halla en solución en el suelo como catión intercambiable y es rara su deficiencia.

El azufre, constituyente de los aminoácidos cistina y metionina, y de las vitaminas biotina y tiamina, no abunda de modo que pueda aprovecharse en el suelo. Se está continuamente drenando, al tiempo que nuevos aportes del mismo se incorporan sin cesar debido a la descomposición de los minerales que lo contienen, tales como la pirita. En las regiones industriales, el azufre se incorpora también a través de las precipitaciones, ya que la lluvia absorbe el dióxido de azufre de la polución industrial.

Los vegetales necesitan manganeso, boro, hierro, cinc, cobre, molibdeno y cloro en cantidades muy pequeñas. Sus deficiencias, aunque no corrientes, pueden limitar la productividad. Se cree que la deficiencia de molibdeno ha sido uno de los factores responsables de los bajos niveles de fijación de nitrógeno en muchas áreas.

Aparte de luz, aire y agua, las demandas más apremiantes que una planta hace a su medio son de minerales. Los animales necesitan también minerales, pero tienen otras necesidades de tipo dietético más complejas que no pueden expresarse por una simple enumeración de elementos químicos. La nutrición de los animales depende de sustancias orgánicas, a saber: glúcidos, grasas, vitaminas y proteínas o aminoácidos, que son los constituyentes de las proteínas. Todas estas sustancias hay que obtenerlas, directa o indirectamente, de las plantas verdes; los animales son, por consiguiente, parásitos de la comunidad vegetal. Estos sacan la energía necesaria de la descomposición de productos ricos en energía, procedentes de la fotosíntesis, en moléculas simples de menor riqueza energética. Por ejemplo, un animal puede ingerir glucosa y combinarla con oxígeno para liberar energía, dióxido de carbono y agua; este proceso, que es el de la respiración, es la réplica exacta de la fotosíntesis. Potencialmente, todos los animales se alimentan esencialmente de la misma forma; ingieren sustancias orgánicas que se degradan parcialmente por los enzimas digestivos hasta que estos nutrientes pueden ya absorberse. La degradación parcial compete al tracto digestivo. Las especies difieren, sin embargo, en los tipos de alimentos que son capaces de utilizar. Entre los vertebrados, la distinción más significativa se da entre los animales que obtienen su alimento de la celulosa y los que emplean otras formas de glúcidos.

La importancia de esta distinción refleja el extraordinario valor de la celulosa en el ciclo global de nutrientes. Una buena parte de la energía acumulada en la mayoría de las plantas verdes se dedica a la elaboración de celulosa, y ésta es el material más abundante en la estructura de los vegetales. Supone un fecundo recurso energético.

Los mamíferos no fabrican enzimas capaces de romper los enlaces glucídicos de la celulosa; ésta, que es una polimerización de unidades de glucosa, carece, por consiguiente, de valor nutritivo directo para tales vertebrados. Hay bac-

terias que secretan los enzimas apropiados. Los mamíferos que consumen una dieta rica en celulosa pueden romper los enlaces glucídicos merced a que estas bacterias crecen en su tubo digestivo. Por medio de la fermentación, las bacterias degradan parcialmente la celulosa, gastando parte de la energía para alimentar su propio ciclo vital. La degradación la completa el huésped animal, el cual, al reducir las moléculas de glucosa a dióxido de carbono y agua, extrae la energía remanente. Por otra parte, las bacterias muertas pueden digerirse también. Esta estrategia dietética equivale a una suerte de agricultura interna.

Los animales pueden clasificarse en tres grupos en razón de su capacidad asimilativa de celulosa, clasificación que se refleja en la estructura de su aparato digestivo. Los carnívoros, como el perro, y los omnívoros, como el hombre y el cerdo, poseen un estómago simple y les cuesta mucho digerir la celulosa. Los herbívoros no rumiantes, como el caballo, el conejo y el cobayo, pueden aprovecharse de la celulosa para su alimentación, pero la asimilan con menos eficacia que los rumiantes. Los herbívoros rumiantes, como el ganado vacuno, lanar, la cabra, el ciervo, el búfalo y muchos otros, pueden degradar ventajosamente la celulosa y extraer de ella una gran proporción de su dieta calórica.

En los animales con estómago simple, la digestión se lleva a cabo, principalmente, por enzimas, del propio animal, secretados por él mismo. Muchos enzimas de éstos se elaboran en el páncreas y por las células de la mucosa de las paredes del estómago y del intestino delgado. La zona principal de absorción de materiales es el intestino delgado. Las bacterias se encuentran en el ciego y el colon, pero los residuos de los alimentos pasan por estas regiones del tubo digestivo rápidamente, con poca digestión bacteriana.

En los herbívoros no rumiantes, las poblaciones bacterianas del ciego y del colon son más importantes. La celulosa de la dieta se digiere aquí por las bacterias, produciendose ácido acético, propiónico y butírico; estos ácidos orgánicos son productos de desecho de los microorganismos, pero alimentos ricos en energía para el huésped animal. Pueden también ser absorbidos algunos aminoácidos y vitaminas sintetizados por las bacterias.

El rendimiento de este proceso puede quedar limitado porque algunos nutrientes ingeridos por las bacterias se absorban en el intestino delgado antes de llegar a los microorganismos. Por otra parte, algunos productos de valor nutritivo resueltos por las bacterias pueden perderse con las heces debido a una absorción ineficaz en el ciego y el colon.

En los rumiantes se encuentra una adaptación absoluta a la exigencia de una dieta rica en celulosa. La fermentación bacteriana de los alimentos fibrosos se concentra en una amplia cámara de fermentación, la panza, sita en la parte anterior del tubo digestivo. Allí, la celulosa se degrada en pequeñas moléculas y se explotan los recursos que poseen las bacterias para sintetizar aminoácidos y ciertas vitaminas. La transformación bacteriana se realiza antes de que el alimento penetre en el intestino delgado, de modo que toda la longitud del intestino queda disponible para la absorción de los nutrientes extraídos de los alimentos y sintetizados por los microorganismos.

Tradicionalmente, los animales de granja se han alimentado mediante el consumo directo de materiales vegetales, tales como granos y forrajes; pero hay otros muchos materiales nutritivos que son recursos dietéticos potenciales. Por ejemplo, la harina de soja, el aceite de semillas de algodón y de cacahuete, el salvado de trigo y la pulpa y melaza de la remolacha, son todos ellos alimentos apropiados para muchos animales. Los desechos del matadero, como la sangre, harina de huesos y las carnizas, e incluso los excrementos de animales, como el estiércol de ganado vacuno y de las aves de corral, pueden alimentar al ganado vacuno. Debido a la capacidad de las bacterias de la panza para sintetizar aminoácidos, el ganado vacuno puede alimentarse incluso con fuentes de nitrógeno tales como el amoníaco y la urea.

Con la variedad de materiales alimenticios disponibles, el número de formulaciones de raciones animales potenciales es casi ilimitado. En países pobres, la ganadería y el hombre compiten por los cereales disponibles. Como resultado de ello, los cereales se echan sólo a aquellos animales que aportan eficazmente calorías a los tejidos, como el pollo o el cerdo, y a aquellos otros que son necesarios para el trabajo. Los rumiantes o bien pastan, o bien consumen desperdicios.

En países ricos y de agricultura productiva, existe por contra una competencia limitada por el alimento. Por tanto, se puede incrementar la productividad de los animales completando su dieta con granos. El ganado porcino y las aves de corral pueden consumir casi todos sus nutrientes en forma concentrada. En Estados Unidos, los bueyes pasan la mayor parte de su vida en pastoreo sin o con poco grano, pero los terneros destinados a la matanza, reciben generalmente una ración generosa de grano en su dieta, para potenciar su engorde y mejor sus características estructurales.

Las vacas lecheras se suelen alimentar con raciones que contienen del 20 al 50 por ciento de granos. El ganado vacuno de las vaquerías se mantiene, reproduce y permanece sano cuando se le alimenta exclusivamente con forrajes. Pero si éstos son de mediana calidad, las vacas encuentran dificultades para obtener suficientes nutrientes que les permitan producir más de 5 a 10 kg de leche al día; mientras pueden producir de 15 a 20 kg por día si el forraje es de óptima calidad. Con alimentación abundante de grano, las vacas pueden producir más de 45 kg de leche diarios.

Los animales no rumiantes requieren una dieta que, en varios aspectos, no difiere esencialmente de la dieta humana. En la hipótesis de encontrarse con una alimentación escasa, podría ser más eficaz en teoría dejar de nutrir al animal y reservar el alimento para el consumo humano. Los animales, sin embargo, podrán elaborar productos desabridos o no comestibles y almacenarlos para su posterior aprovechamiento. De la energía solar transformada en energía química por la planta, solamente el 20 por ciento puede ser directamente utilizado por el hombre. Los animales convierten los productos vegetales en alimento humano con una eficacia que varía entre el 2 y el 18 por ciento. Esta conversión poco eficaz no es, sin embargo, una pérdida sino una ganancia cuando la energía fotosintética consumida por los animales no puede explotarse de otra forma. La justificación del factor animal en el proceso agrícola se basa en su capacidad para transformar productos de escaso o nulo valor en alimentos nutritivos para el hombre.

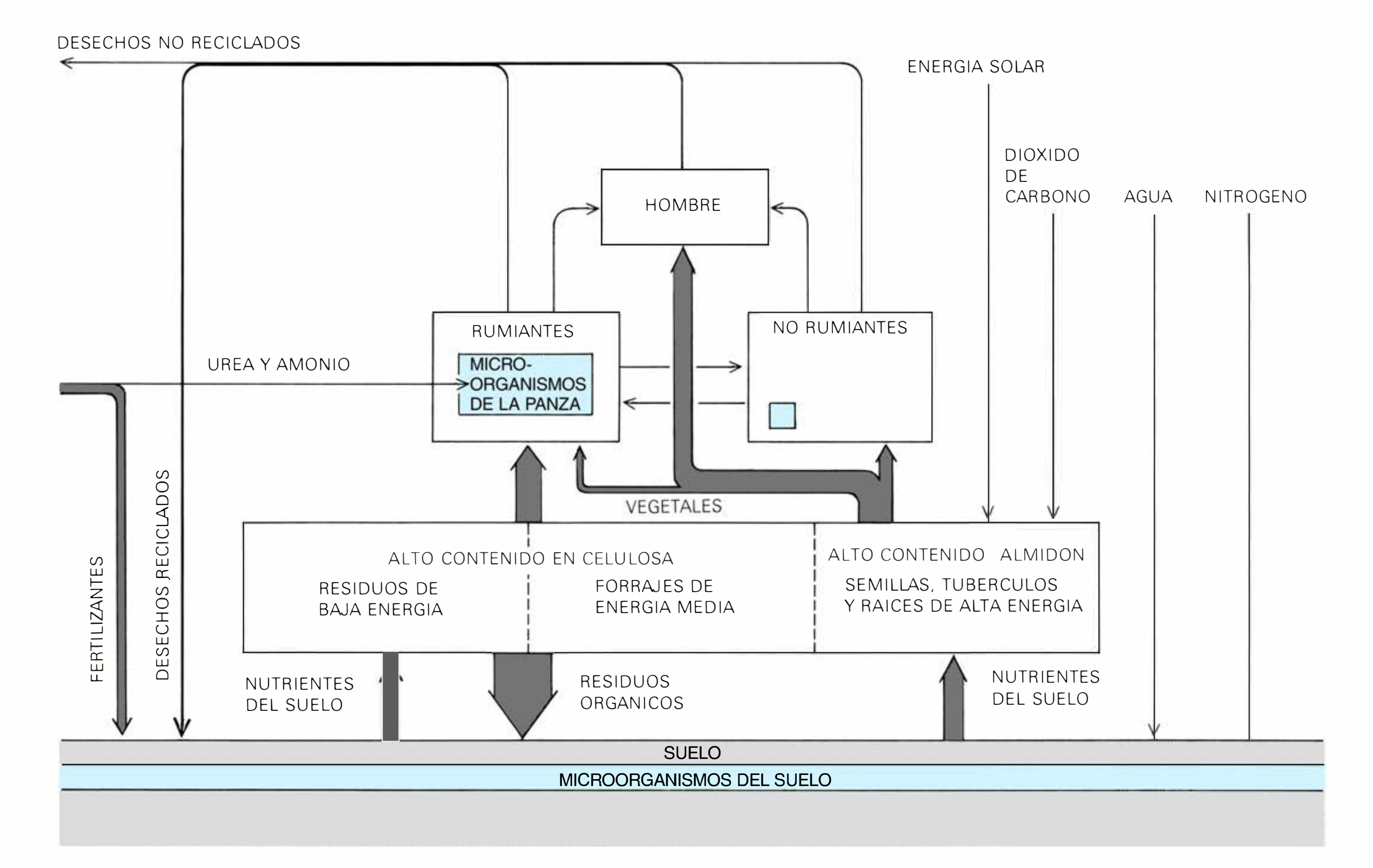
En cualquier sistema ecológico no manipulado se establece en seguida un equilibrio entre los recursos del suelo, la vida vegetal y los organismos que se alimentan de las plantas. La biomasa, o cantidad total de materia viva que puede mantenerse, viene determinada por la combinación de factores del medio ambiente, de los que el clima es el más importante.

En los sistemas agrícolas primitivos, la flora y la fauna naturales eran sustituidos simplemente por plantas cultivadas y animales domésticos. La interacción de plantas y animales quedaba alterada, pues, muy levemente; los cambios en la biomasa total eran probablemente mínimos y podían constituir una ganancia o una pérdida. Sin embargo, el impacto económico era enorme, ya que una porción elevada de la biomasa pasaba a ser aprovechada por el hombre.

La agricultura primitiva se caracterizaba por un aporte de energía pequeño, baja producción y una eficacia total elevada. Los animales consumían los alimentos excedentes, forrajes bastos y productos de desecho; se aprovechaban los residuos vegetales, animales y humanos, o reciclaban otra vez hacia el suelo. Las necesidades energéticas se satisfacían con el trabajo de los hombres, mujeres y animales. Si bien se utilizaba poco combustible, maquinaria, fertilizantes o pesticidas, también es cierto que se obtenía poco alimento a pesar del continuo trabajo. Utilizado razonablemente, el sistema era como máximo autoabastecedor; pero si se permitía el superpastoreo o prácticas de cultivo que condujeran a una excesiva erosión, el sistema quedaba destruido.

Los modernos sistemas de agricultura se basan en una producción elevada y en un alto rendimiento en el trabajo. Los ciclos naturales de plantas y animales, que constituían el quicio de la agricultura primitiva, se han modificado acoplándoseles una tecnología que posibilita un notable aporte de energía. Este aporte suele tomar la forma de géneros manufacturados; a saber: maquinaria, combustibles, abonos y pesticidas. Para un máximo rendimiento, la producción de determinados cultivos se concentra por áreas geográficas y las granjas también se especializan. La explotación ganadera y la agrícola propiamente dicha parcelan sus zonas, sin interferencias. Este cambio en relación con la agricultura primitiva representa la respuesta de los agricultures a una combinación de fuerzas económicas entre las que se encuentran el clima, la concentración demográfica, la revalorización de los terrenos, el bajo coste de la energía y el alto coste del trabajo. Las preferencias de los consumidores han dejado sentir también su peso. En Estados Unidos, por ejemplo, la demanda de filetes tiernos de buey, combinada con el relativo bajo coste del grano, permite el consumo de granos de muy buena calidad por parte del ganado vacuno.

La ley del mínimo de Liebig no ha limitado su aplicación a los nutrientes vegetales. Puede ampliar su ámbito a todos los factores que intervienen en el éxito de la empresa agrícola. Realmente, la historia de la tecnología agrícola ha sido una búsqueda de métodos económicos para potenciar los factores que limitan la producción. Muchos terrenos que hoy son de la máxima eficacia estuvieron en otro tiempo sin cultivar por no llegarles agua; de modo parecido, la ausencia de inversión de capitales que se padece en muchísimas regiones redu1e la producción como puede hacerlo una sequía pertinaz. En conjunto, el éxito de la tecnología en el incremento



EL CICLO COMPLETO DE NUTRIENTES incluye al hombre como último consumidor y arquitecto del sistema agrícola. Los productos vegetales de alta energía, tales como las semillas, son consumidos directamente por el hombre o, indirectamente, a través de los animales. Los materiales vegetales de baja energía con alto contenido en celulosa son metabolizados por los rumiantes. El crecimiento de los cultivos que sustentan la ganadería y la población humana se incrementa por el retorno de los desechos al suelo y por la aplicación de abonos.

de la productividrd agrícola ha sido destacado. La gráfica alarmante del incremento de población mundial es, al propio tiempo, la tranquilizadora gráfica del incremento de alimentos.

Para mejoras adicionales en la producción, las posibilidades más prometedoras apuntan a una intervención en los ciclos en que se hallan comprometidos las plantas, el suelo, los animales y los microorganismos. Por ejemplo, es potencialmente posible un gran incremento en la fijación biológica del nitrógeno. La alfalfa, que es una leguminosa, crece con una producción anual de 40 Tm por hectárea sin la aplicación de abonos nitrogenados. En la alfalfa que contiene un 3 por ciento de nitrógeno, las bacterias asociadas con las raíces vegetales pueden fijar como mínimo 1125 kg de nitrógeno por hectárea y año, que es cinco veces la cantidad generalmente considerada como típica. La fijación de nitrógeno en el suelo puede mejorarse además por selección artificial de cepas eficaces de bacterias simbiontes, acoplada a una adopción generalizada de leguminosas mejoradas, particularmente en los trópicos. Se ha descubierto recientemente una bacteria capaz de fijar nitrógeno, que vive en asociación simbiótica parcial con ciertos cereales tropicales, comprendido el maíz. La manipulación genética de esta bacteria ofrece la esperanza de que la capacidad de fijación de nitrógeno pueda extenderse a todos los cultivos. Un avance con perspectivas de inmediata aplicación lo proporciona el descubrimiento de sustancias baratas (nitropirina) que retardan la conversión por acción bacteriana del amonio en nitrito y nitrato. Como el amonio es un catión, y queda retenido en los coloides del suelo, mientras que el nitrito y el nitrato son fácilmente arrastrados por lixiviación, la nitropirina podría retardar la pérdida de nitrógeno del suelo. Por último, la capacidad de absorción de algunas raíces vegetales puede potenciarse merced a cierta asociación íntima, denominada micorriza, entre las raíces y los hongos. La facilitación de asociaciones micorrícicas puede beneficiar a ciertos cultivos vegetales, particularmente en suelos estériles y en donde cueste aprovecharse de los nutrientes específicos.

Muchísimas mejoras potenciales que contemplan el rendimiento agrícola de las sociedades industriales son pura cuestión económica. Los residuos que se queman o destruyen podrían volver al suelo para aumentar su fertilidad; mejor aún, podrían ser metabolizados por los animales y convertirse en alimentación. Los desechos orgánicos, como las aguas fecales, los subproductos de industrias conserveras y el estiércol animal son fuentes ricas en nutrientes vegetales. Cerca del 44 por ciento del peso vivo del ganado de engorde para alimentación no es comestible para el hombre, pero tiene un gran valor nutritivo como concentrado de proteínas para la nutrición animal. Los nutrientes se desechan en los subproductos de la molienda de los granos, la extracción de aceites, la elaboración de harina de pescado y la fermentación. Miles de millones de toneladas de residuos de cosechas, entre éstos la paja, los desechos de caña de azúcar y serrín, son, en potencia, alimento para los rumiantes. Solamente en Estados Unidos, se cultivan para grano 24 millones de hectáreas de maíz, el cual contiene solamente la mitad de la energía potencial de la planta; la otra mitad, encerrada en los pedúnculos y mazorcas podría destinarse al consumo animal. Lo mismo se podría hacer con el estiércol del ganado y de las aves de corral; que entra en la dieta de los rumiantes. El uso a gran escala de estos residuos y subproductos está limitado principalmente por el alto coste de su transporte. Una vía para rebajar estos costes podría ser la descentralización de la explotación ganadera en Estados Unidos.

La contienda por las proteínas que también necesita el hombre podría decantarse en su favor o quizás eliminarse en el caso de los rumiantes, reemplazando las proteínas de la dieta de éstos por otras fuentes de nitrógeno. Un ternero mamón, con una dieta de forrajes no digeribles y urea, produce más proteína que la que consume. La eficacia de la rumia puede incrementarse con estimulantes de la panza y facilitadores digestivos. Se ha demostrado incluso la fijación de nitrógeno por acción de las bacterias del tubo digestivo de los rumiantes, y algún día podría explotarse.

Aunque el hombre se ha convertido en manipulador del ciclo alimentario, está hecho de carne y no tiene más remedio que participar en el mismo. Un sistema variable de producción de alimentos requiere una transformación eficaz de la energía y un intercambio de nutrientes entre el medio, las plantas, los animales y los microorganismos. Las relaciones entre estos factores pueden aprovecharse para objetivos a corto plazo o bien ordenarse para un mantenimiento a largo plazo. Su ignorancia sólo puede operar en perjuicio nuestro.



Las plantas y los animales que alimentan al hombre

En el transcurso de los últimos 10.000 años el hombre ha escogido y domesticado un número relativamente pequeño de plantas y animales, estableciéndose de este modo una dependencia cada vez más estrecha entre el hombre y las especies a su cargo

Jack R. Harlan

Tiempos atrás, el hombre disfrutó de una dieta muy variada. Empleó como alimento varios miles de especies vegetales y varios centenares de especies animales. De entre todas ellas, sólo un número relativamente pequeño llegó a ser domesticado. En los albores de la agricultura, se observó una tendencia a concentrar la atención sobre las especies que resultaban más productivas y más remuneradoras en términos de trabajo y de capital invertido. Al hacer su aparición las ciudades y los pueblos, la lista de las especies productoras de alimentos se fue reduciendo, ya que los agricultores vendían las cosechas y animales más rentables a la población urbana. En los últimos siglos esta tendencia se ha acelerado con la industrialización y el incremento de las economías monetarias. Los supermercados y los autoservicios han limitado de forma drástica la dieta humana en los Estados Unidos, y ese mismo efecto se está empezando a sentir en todo el mundo.

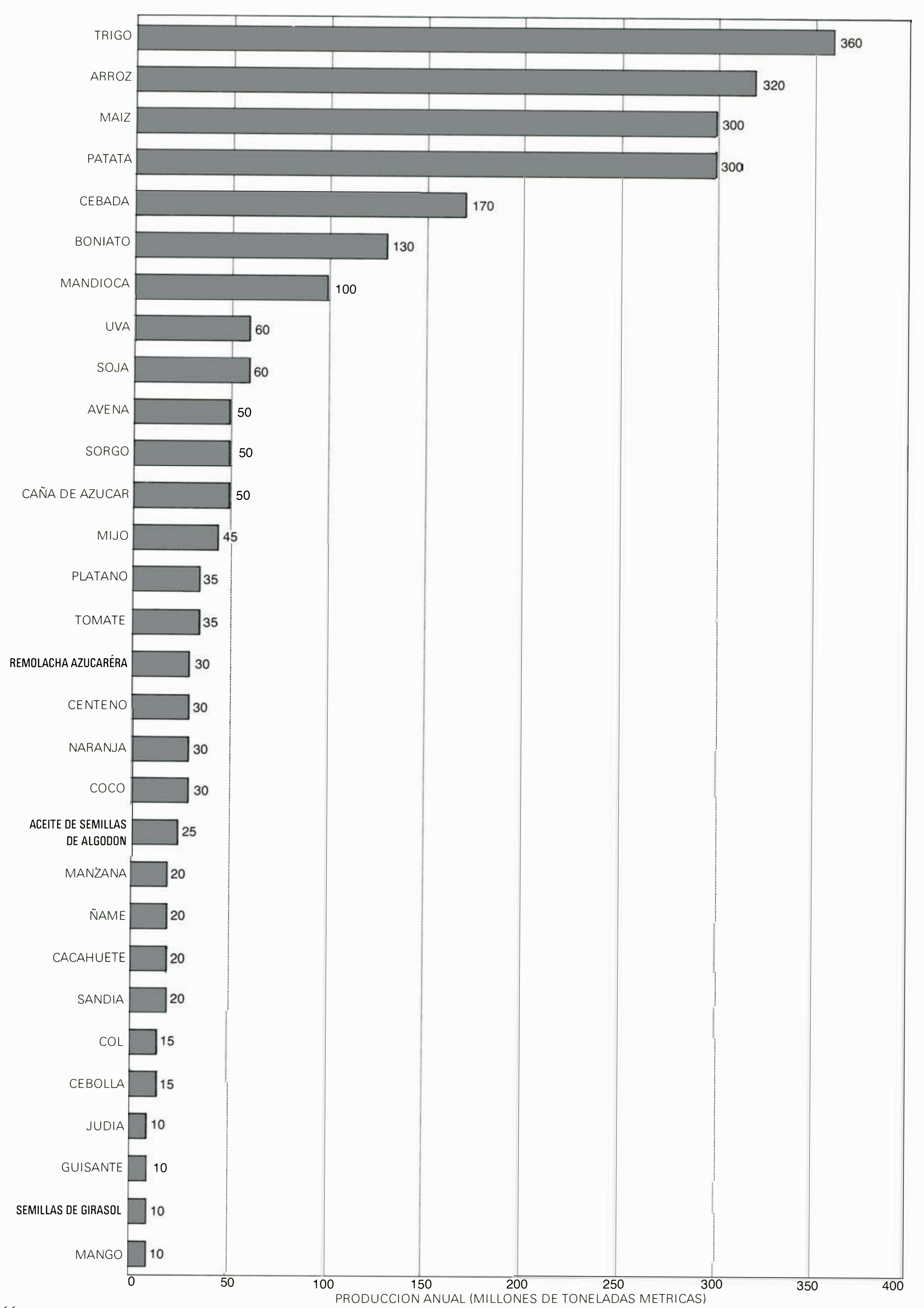
La tendencia a que un número cada vez mayor de personas se alimenten a expensas de un número cada vez menor de especies vegetales y animales ha llegado actualmente al punto en que la mayoría de la población mundial depende en forma absoluta de un puñado de especies *(véase la ilustración de la página siguiente)*. Los cuatro cultivos que encabezan el elenco aportan al consumo de alimentos en todo el mundo más toneladas que la totalidad de los veintiséis cultivos restantes. Se trata de un fenómeno relativamente reciente, que no se presentaba en los sistemas agrícolas de subsistencia tradicionales, abandonados en los últimos siglos. A medida que esta tendencia cobra intensidad, el hombre se va haciendo más y más vulnerable. El suministro de alimentos depende ahora del éxito de un pequeño número de especies, y una catástrofe en cualquiera de estas fuentes puede representar automáticamente la muerte por inanición de millones de personas. Nos hemos lanzado por una pendiente que conduce a una estrecha dependencia respecto de unas pocas especies. Se trata, al parecer, de un camino sin retorno.

¿Dónde, cuándo y cómo empezó el hombre este largo y fatal viaje? Hace 20 años, el "dónde" era una pregunta fácil de contestar. Si se quería localizar el origen de una planta cultivada, no se necesitaba más que consultar los escritos del N. I. Vavilov, el genetista que dirigió el Instituto de Industria Vegetal de la URSS, en Leningrado, de 1920 a 1940. Vavilov organizó expediciones a gran escala para la recolección de plantas, reunió grandes cantidades de muestras, analizó las colecciones e identificó "centros de origen" geográficos sobre la base de los modelos de variación que se observaban en las plantas cultivadas y en sus parientes próximas salvajes. Llegó a la conclusión de que existían ocho de esos centros, seis en el Viejo Mundo y dos en el Nuevo.

La obra de Vavilov era monumental, y su impacto sobre los agrónomos de todo el mundo fue enorme. Sin embargo, los estudios realizados desde entonces han puesto de manifiesto que la historia del proceso de domesticación de las plantas es mucho más complicada que lo que se había supuesto. La fuerza de las pruebas de que se dispone en la actualidad muestra que muchas plantas de cultivo o no se originaron en los centros indicados por Vavilov o se originaron en más de un centro. Algunas de estas plantas parecen haberse desarrollado en vastas regiones; no existen pruebas suficientes de que procedan de un centro de origen. En otras no puede señalarse el centro de origen con suficiente precisión por falta de datos adecuados.

En tiempo de Vavilov, los eruditos consideraban la agricultura como un sistema revolucionario de obtención de alimentos que había aparecido en uno o dos centros y se había extendido después por toda la faz de la tierra, substituyendo a los sistemas más primitivos de caza y recolección. La explotación deliberada de plantas y animales para el consumo humano llegó a reputarse como una invención o descubrimiento tan radical y tan complejo que sólo podía haberse desarrollado una sola vez (o posiblemente dos); a partir de entonces, el sistema se habría ido extendiendo por

LOS CULTIVOS DE EGIPTO *(página opuesta)* **durante la última mitad del segundo milenio a. C.; la pintura original se encuentra en una tumba próxima a la capital real de Tebas. Las franjas con un dibujo ondulado representan agua. El cereal de color tostado que está siendo segado con una hoz es una especie primitiva de trigo, el trigo emmer, comúnmente cultivado en Egipto hasta el siglo IV a. C. La plantación alta y verde que aparece en el cuadro inferior corresponde al lino; están arrancándolo de acuerdo con la forma de recolección usual. A la derecha, un labrador cava un surco. Una yunta de bueyes tiran del arado; sigue detrás la mujer del agricultor, echando las semillas en el surco. En el cuadro inferior, los árboles de los que penden racimos de pequeños frutos son palmeras datileras, y los árboles de los que penden frutos en piña apretada son palmeras egipcias; los árboles de color verde pálido que se encuentran entre ellas corresponden a una variedad de higuera,** ***Ficus sycomorus,*** **el sicómoro bíblico. El último cuadro muestra plantas acuáticas.**



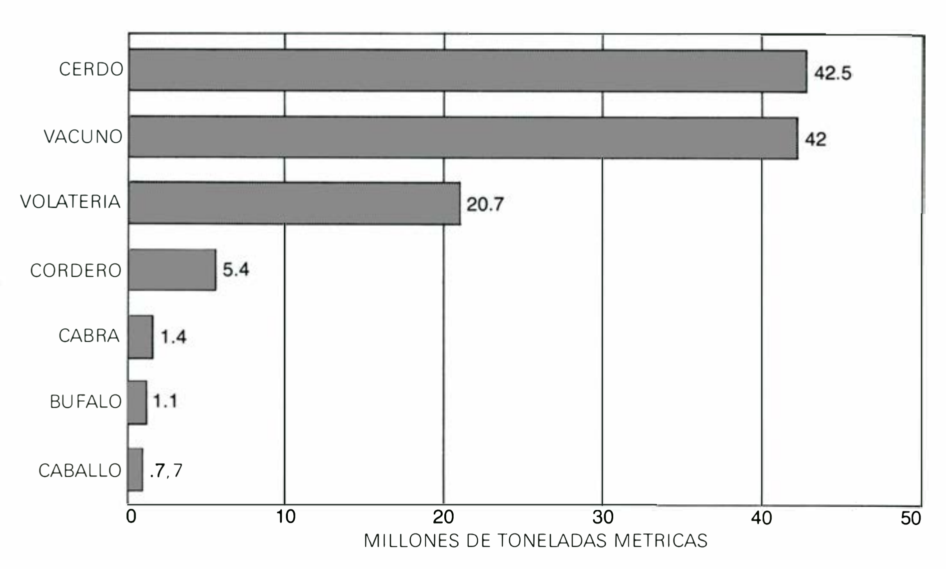
TRIGO
360
ARROZ
320
MAIZ
300
PATATA
300
CEBADA
170
BONIATO
130
MANDIOCA
100
UVA
60
SOJA
60
AVENA
50
SORGO
50
CAÑA DE AZUCAR
50
MIJO
45
PLATANO
35
TOMATE
35
REMOLACHA AZUCARÉRA
30
CENTENO
30
NARANJA
30
COCO
30
ACEITE DE SEMILLAS DE ALGODON
25
MANŽANA
20
ÑAME
20
CACAHUETE
20
SANDIA
20
COL
15
CEBOLLA
15
JUDIA
10
GUISANTE
10
SEMILLAS DE GIRASOL
10
MANGO
10
0
50
100
150
200
250
300
350
400
PRODUCCION ANUAL (MILLONES DE TONELADAS METRICAS)

difusión de tal avance. Los pueblos cazadores, al entrar en contacto con los agricultores, habrían visto y apreciado al momento las enormes ventajas de la agricultura y se habrían dado prisa en decidirse a hacer lo mismo. Los datos que se han ido acumulando en los últimos años, y en especial en la última década, parecen conducir a un punto de vista prácticamente opuesto. La agricultura no es una invención ni un descubrimiento, ni resulta tan revolucionaria como se había pensado; es más, el proceso de su adaptación fue lento y se hizo a regañadientes.

Los datos actuales indican que la agricultura fue desarrollándose mediante la generalización y la intensificación de prácticas que la gente venía ensayando desde hacía mucho tiempo. Si examinamos la domesticación de plantas y animales con más detalle, los que una vez se creyeron centros bien definidos tienden a esfumarse o a tornarse vagos y mal delimitados. También yo cambié de punto de vista ante los nuevos datos, y lo que pensaba y escribí hace 20 años tiene poco parecido con mi idea actual del asunto.

El modelo innovador que hoy se construye es complejo, difuso y difícil de describir. Por ejemplo, pueden encontrarse testimonios de la domesticación de los cerdos en la franja que se extiende desde Europa hasta Extremo Oriente. Otros animales domésticos se sometieron en puntos dispersos a lo largo de esa misma zona. Con respecto a las plantas, puede decirse prácticamente lo mismo del arroz en Asia, del sorgo en Africa y de las judías en ambos hemisferios americanos *(véase la ilustración de la parte superior de las dos páginas siguientes)*. Los antecesores salvajes de estas plantas alimenticias se distribuyen geográficamente por todas partes, y las explotaron los distintos pueblos que se hallaban en su área específica de dispersión. Cualquiera de ellas pudo haber sido domesticada en ocasiones distintas, en momentos y lugares diferentes, o pudo haber sido incorporada

ENTRE LAS TREINTA PLANTAS de cultivo más importantes, siete alcanzan una producción anual de 100 millones de toneladas métricas. La producción en toneladas de estos siete cultivos que se hallan en cabeza suma más del doble de la producción de los restantes veintitrés. Se dan por separado la caña de azúcar y la remolacha azucarera. En cambio, los mijos van juntos. Los cultivos con una producción anual inferior a 10 millones de toneladas métricas no figuran en el cuadro *(página opuesta)*.



DE LOS CENTROS DE ORIGEN PRINCIPALES, siete suministraron más de 110 millones de toneladas métricas de carne en todo el mundo en 1974, según estadísticas de la Organización para la Alimentación y Agricultura (FAO), de las Naciones Unidas. La contribución más importante correspondió al ganado de cerda: 42,5 millones de toneladas. Buey, vaca, y ternera ocuparon globalmente el segundo puesto; las aves: pollo, pato y pavo, en conjunto, quedaron en tercer lugar.

al acervo de las plantas domésticas en varias regiones a la vez. No es posible señalar con un mínimo margen de confianza o de precisión un único centro de origen para cada planta y animal.

Además, cuando la planta o animal en el que nos fijamos no ocupó nunca un área importante o, si lo hizo, fue sólo en tiempos históricos recientes, el caso suele ser bastante claro y le podemos asignar un origen relativamente seguro. Por ejemplo, dos especies de bueyes, el mitán *(Bos gaurus)* y el yak *(Bos grunniens)*, tienen un área de dispersión más bien modesta, y parece probable que fueron domesticados dentro de los límites que ocupan en la actualidad: el mitán en el seno de las tribus que viven en las colinas del noroeste de Birmania, Assam y Bután, y el yak en el Tibet y en los altiplanos adyacentes. El girasol constituyó una planta de importancia secundaria, cultivada por los indios que habitaban los actuales Estados Unidos; sólo recientemente se ha convertido en el más importante cultivo oleaginoso de la Europa oriental. La palmera de aceite africana es otro vegetal que sólo ha adquirido importancia en el mundo en las últimas décadas: su historia, pues, es fácil de trazar.

No hay duda de que la posibilidad de domesticaciones independientes complica mucho las cosas. En algunos casos, las pruebas de que se dispone no son suficientemente claras. Por ejemplo, parece probable que la judía lima, de semilla grande, fuese domesticada en Sudamérica y que la judía sieva, de semilla pequeña, lo fuese en México. Una especie de arroz fue domesticada en Asia y otra en Africa, una especie de algodón fue domesticada en la India o en Africa, otra en Sudamérica y una tercera en Mesoamérica. Cinco especies de calabaza y cinco de guindilla *(Capsicum)* fueron domesticadas en toda la región que se extiende desde México hasta Argentina. Diferentes especies de ñames fueron domesticadas en Africa occidental, en el sudeste asiático y en América tropical. Diferentes razas de rábano fueron domesticadas, de forma autónoma, en Japón, Indonesia, India y Europa. Cuando las especies y las razas se distinguen fácilmente unas de otras, su historia suele ser más clara. Sin embargo cuando los motivos de diferenciación entre las razas que proceden de un progenitor salvaje se muestran muy difusos, es forzoso que los datos acerca de sus orígenes sean vagos. Además, en muchos casos, los datos de que se dispone son insuficientes porque no se ha investigado en profundidad el asunto.

Tal es, probablemente, el caso de varios cultivos de origen oscuro. El algodón del Viejo Mundo y el sésamo (ajonjolí), que es una semilla oleaginosa, podrían haber tenido orígenes africanos o indios, o bien ambos. No sabemos en dónde vive realmente la calabaza vinatera silvestre, si es que vive en algún sitio. Suele ser difícil distinguir con propiedad las razas salvajes de las razas que escapan al cultivo convirtiéndose en malas hierbas o vuelven a naturalizarse reproduciéndose sin la intervención del hombre. En algunos casos, el tipo de distri-

MAIZ
TOMATE
JUDIA DE SIEVA
JUDIA ESCARLATA
ALGODON
AGUACATE
PAPAYA
CACAO
(MANDIOCA)
(BONIATO)
(JUDIA COMUN)

GIRASOL
JUDIA DE TEPARE

ÑAME
PIÑA
(MANDIOCA)
(BONIATO)
(ALGODON)

NORTE-AMERICA

MESOAMERICA

LLANOS SUD-AMERICA

ALTI-PLANOS SUD-AMERICA

PATATA
CACAHUETE
HABA DE LIMA
(JUDIA COMUN)
(ALGODON)

ARROZ AFRICANO
SORGO
MIJO PERLA
MIJO AFRICANO
ÑAME
SANDIA
CAUPI
CAFE
(¿ALGODON?)
(¿SESAMO?)

REM. AZUCARERA
AVENA
CENTENO
COL
(UVA)
(ACEITUNAS)

TRIGO
CEBADA
CEBOLLA
GUISANTE
LENTEJA
GARBANZO
HIGO
DATIL
LINO
PERA
GRANADA
(UVA)
(ACEITUNA)
(¿MANZANA?)

MIJO COMUN
ALFORFON
ALFALFA
CAÑAMO
(MIJO MENOR)
(UVA)
(¿HABA GRUESA?)

EUROPA

ASIA CENTRAL

PROXIMO ORIENTE

INDIA

AFRICA

GUISTE. PALOMA
BERENJENA
PEPINO
(¿ALGODON?)
(¿SESAMO?)

MAPA DE LAS REGIONES de domesticación de las plantas. Se han generalizado los límites de cada región. Excepto para el trigo, cuando los géneros o especies distintos se domesticaron independientemente en regiones distintas, el nombre aparece asociado a una región; así ocurre con el algodón, el ñame y los mijos. Cuando hay certeza o probabilidad de que la misma especie se domesticó independientemente, el nombre aparece encerrado en un paréntesis en cada región; como ejemplos tenemos la judía común, la manzana, la aceituna y la vid. En los casos

RENO

NORTE DE EUROPA

(VACUNO)
(CERDO)
(PATO)
(OCA)

EUROPA

ASIA CENTRAL

(PAVO)

NORTE-AMERICA

PROXIMO ORIENTE

ASNO
POLLO DE GUINEA
(PATO)
(OCA)

AFRICA

INDIA

PATO MUDO
(PAVO)

MESOAMERICA

OVEJA
CABRA
DROMEDARIO
(VACUNO)
(CERDO)

ALTI-PLANOS SUD-AMERICA

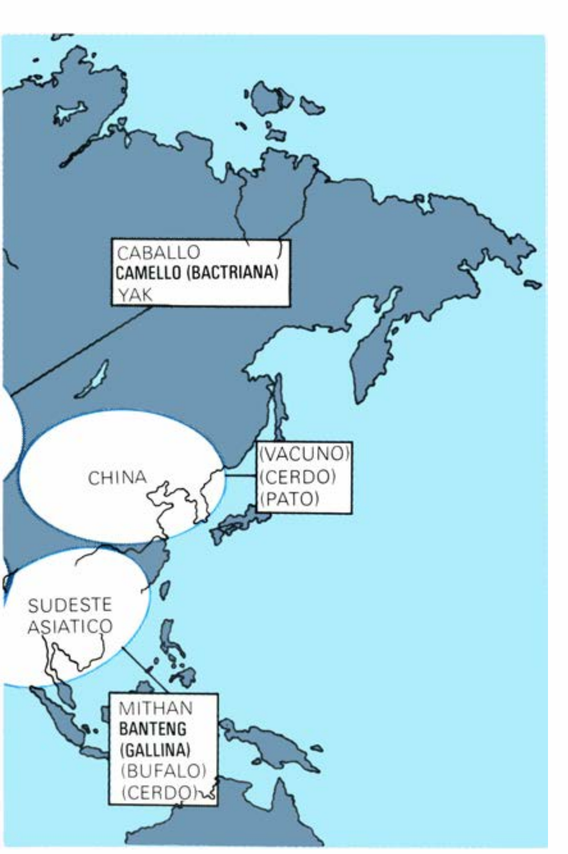
LLAMA
ALPACA
COBAYO

(VACUNO)
(BUFALO)
(GALLINA)

MAPA DE LAS REGIONES DE DOMESTICACION de los animales; al igual que en el mapa que representa la domesticación de las plantas, se han generalizado los límites de las regiones. A las seis especies de mamíferos y las tres especies de aves que corresponden a los animales domésticos más numerosos, se han añadido algunos otros de interés alimentario, como fuerza de trabajo o útiles para el trans-



dudosos, un signo interrogante sigue al nombre. Figuran también cultivos de producción anual inferior a 10 millones de toneladas métricas (por ejemplo: lentejas, café y té).



porte. Cuando hay indicios de que ciertos animales se domesticaron en varias zonas, los nombres van entre paréntesis (cerdo, vacuno ...).

bución original es tan oscuro que ya no existe ni el menor indicio.

Entre las principales plantas de cultivo que aparecen en la ilustración de la página opuesta, algunas tuvieron una importancia secundaria hasta hace relativamente poco. La patata estaba supeditada casi totalmente a los altiplanos andinos hasta que los europeos llegaron allí en el siglo XVI. Al poco tiempo la introdujeron en Europa, pero le costó adaptarse a las nuevas condiciones locales y tuvo que atravesar un período de aclimatación, en especial, por lo que respecta al régimen de días largos característico de los veranos de Europa. Al final, la patata se encontró en un ambiente adecuado y se convirtió en un cultivo muy productivo de la Europa septentrional, hasta el punto de que varios historiadores sostienen que provocó algo así como un aumento demográfico explosivo. Consideradas a escala mundial, las plantaciones de caña de azúcar, remolacha azucarera, soja, cítricos, tomate, cacahuete, batata y girasol, contribuyen de una manera destacada a la alimentación desde hace relativamente poco. Las semillas de algodón, como fuente fundamental de aceite de mesa, son un producto de este siglo.

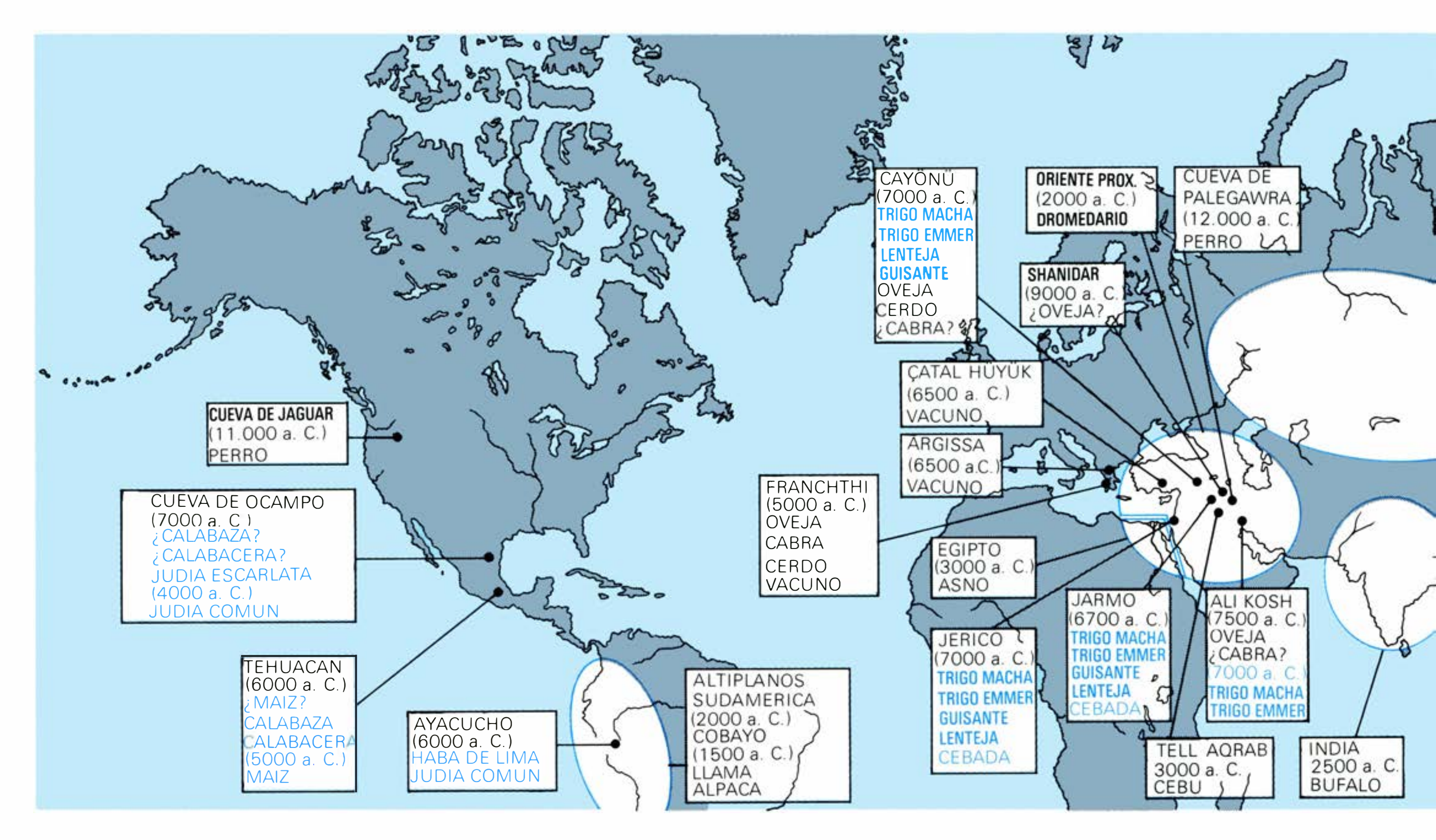
Algo que no hay que olvidar cuando estemos tratando del "dónde" de la domesticación es que estas plantas y animales, sometidos a domesticación, cambian radicalmente con el tiempo de forma que las razas que nos son hoy familiares sean notablemente distintas de sus antepasados. El trigo constituye un buen ejemplo de ello. Inicialmente, se sometieron tres clases de trigo a domesticación a partir de gramíneas salvajes; las tres resultan hoy inviables, raramente llegan a crecer. Una de ellas era un diploide (es decir, una planta con siete pares de cromosomas) llamado trigo de un grano. Probablemente se domesticó en el sudeste de Turquía y su explotación fue siempre secundaria. El trigo de un grano se extendió hasta la Europa occidental, pero no llegó nunca a Egipto, ni se propagó al oriente de su punto de origen.

La segunda clase de trigo fue un tetraploide (es decir, dotado de 14 pares de cromosomas), llamado trigo emmer. En su época fue, con mucho, el que alcanzó mayor éxito. La hipótesis más plausible admite que era originario de Palestina y/o del sureste de Turquía. Durante algunos milenios fue el trigo dominante. Se extendió por Europa, Norte de Africa, Egipto y Arabia y llegó hasta Etiopía, en donde su cultivo sigue siendo importante. El trigo emmer fue el trigo de Egipto, hasta que cedió su puesto al trigo candeal cuando Alejandro Magno conquistara Egipto en el siglo IV a. C. Fuera de Etiopía, el trigo emmer se va extinguiendo como de cultivo residual en Yugoslavia y en el sur de la India.

El tercer trigo domesticado fue otro tetraploide. De su escasa relevancia da fe el que no exista un nombre popular para él; científicamente se conoce por *Triticum timopheevii.* Se originó en Georgia transcaucásica y se ha extendido en campos de experimentación genética.

El trigo que se cultiva en la actualidad no es ninguno de los domesticados en un principio. Los tres se conocen con el nombre de trigos de gluma porque su espiga, o inflorescencia portadora de semillas, se desintegra al ser trillada, liberando cada una de las semillas encerrada en una gluma dura, con aspecto de vaina, el hollejo. En este caso hay que dar un tratamiento especial a las semillas; en general, se majan en un mortero para liberarlas de su vaina. Cierto tiempo después de que el trigo emmer se domesticara, tuvo lugar una mutación que condujo a que la base de la gluma pudiera desintegrarse al llegar a la madurez, liberando así la semilla. Al mismo tiempo, el eje de la espiga se hizo resistente, y ya no se deshacía como ocurría en las espigas ancestrales. Este trigo emmer mutado, capaz de liberar el grano al ser trillado, es el antecesor de nuestro trigo duro o trigo de sémola.

La principal especie de trigo, que contribuye más que ninguna otra a la producción anual de 360 millones de Tm, es la que se conoce generalmente con el nombre de trigo candeal. Es un hexaploide, dotado por tanto de 21 pares de cromosomas. Apareció mucho tiempo después de la domesticación inicial de los tres primitivos trigos de gluma. Una gramínea salvaje, denominada *Triticum tauschii,* fue la que le aportó el juego adicional de cromosomas. Dada la distribución del antepasado salvaje, parece que la hidridación pudo haber tenido lugar en algún punto próximo al sur del mar Caspio. *T. tauschii* es la única especie del grupo que presenta una distribución continental; pudo haber contribuido de forma decisiva a la adaptación que permitió que el trigo candeal se cultivara en las estepas secas del mundo. Como gramínea salvaje, *T. tauschii* carece de importancia, pero como portadora de



LAS PRIMERAS DOMESTICACIONES de plantas y animales parecen haber tenido lugar durante la misma época en todas partes. Véanse las regiones en el Viejo y Nuevo Mundo o los puntos de interés arqueológico donde existen restos de plantas *(en color)* y de animales

especiales características genéticas puede decirse que convirtió un cultivo de un millón de dólares en otro de mil millones de dólares.

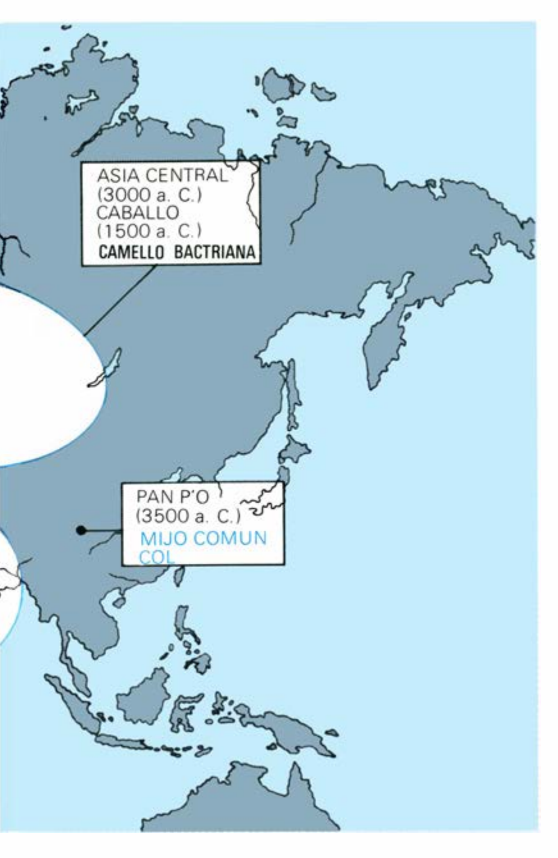
Así pues, la palabra trigo tiene varios significados. Los trigos modernos son notablemente distintos de los primitivos trigos de gluma, que fueron los primeros domesticados. Podemos situar el origen del trigo en el Próximo Oriente, siempre y cuando no restrinjamos demasiado la amplitud de esta zona. Las primeras etapas de la evolución del trigo tuvieron lugar en una zona que se extiende desde Palestina hasta el Cáucaso y el borde meridional del Caspio. Sin embargo, tal como ocurre en todas las demás plantas domésticas, el trigo continúa evolucionando y cambiando en dondequiera que se le cultive.

De modo parecido, se puede pasar revista a las otras plantas y animales domesticados más importantes, aventurando las hipótesis más plausibles sobre su origen geográfico. Sin embargo, en cierto número de casos será necesario asignar la misma especie a más de una región, debido a la forma difusa de su domesticación. Cuando la duda domine sobre la probabilidad o la ignorancia, habrá que recurrir a los signos de interrogación.

No estamos en mejor situación respecto al "cuándo" de la domesticación. Cada año, sin embargo, se adquieren nuevos conocimientos al descubrirse nuevos datos. Por ejemplo, se ha repetido con frecuencia que el perro fue el primer animal domesticado. Hasta hace relativamente poco no teníamos pruebas seguras a favor de esta creencia, pero acaban de encontrarse mandíbulas y dientes de perros domésticos, cuya datación aproximada se fija en 12.000 años a. C. en el Viejo Mundo (Iraq) y en 11.000 años a. C. en el Nuevo Mundo (Idaho). En ambos continentes el hombre utilizó el perro para su alimentación, pero probablemente nunca consideró importante su carne a excepción de algunos pueblos del Nuevo Mundo antes de la llegada de los europeos.

Fuera de estas dos fechas referentes a fósiles caninos, encontramos pocos datos sobre domesticación de animales hasta una época muy inferior, aproximadamente 9000 años a. C. Todavía en ese milenio los datos son borrosos y poco concluyentes. Zawi Chemi Shanidar es un yacimiento arqueológico situado en Iraq, que fue excavado por Ralph S. Solecki en la década de 1960; los huesos animales allí descubiertos fueron analizados por Dexter Perkins Jr. Hoy, si encontramos los huesos adecuados, podemos distinguir entre las ovejas y cabras menores de un año y las de edad superior. Cerca de la base de las excavaciones de Solecki, los restos de oveja y los de cabras menores de un año alcanzaban un 25 por ciento de las muestras. En las capas superiores, con restos pues más recientes, se observó el cambio siguiente: la relación entre huesos de oveja y huesos de cabra aumentaba a favor de la primera, a la vez que sólo un 50 por ciento de las ovejas tenían menos de un año de edad. Esto indica que los habitantes de Shanidar habían logrado adquirir una capacidad de control considerable sobre la población de ovejas, aunque no sobre la de cabras.

Ante un hallazgo de restos óseos precisos, se puede determinar también el sexo del animal. En algunos yacimientos arqueológicos se ha comprobado que los huesos correspondían a un elevado porcentaje de machos jóvenes. Esto no prueba por sí mismo, que haya existido domesticación; relaciones de sexo y de edad, desplazadas de una forma parecida, se encuentran entre los restos de ciervos en yacimientos arqueológicos europeos del mesolítico y en los restos de gacelas de yacimientos del Próximo Oriente. Ambos se consideran animales



que parecen indicar, la domesticación en la fecha escrita. Cada fecha es un hallazgo.

de caza mayor, pero ambos pueden domesticarse. Es difícil encontrar pruebas de domesticación a partir de huesos, de no ser que se hayan producido cambios en la morfología. Sin embargo, estos hallazgos parecen indicar que ha existido cierta cría o explotación ganadera, y ponen de manifiesto que ya en el mesolítico el hombre tenía la capacidad y la técnica necesarias para sacrificar animales de un modo selectivo. Esto hubo de constituir, seguramente, el primer paso hacia el establecimiento de una interacción cada vez más íntima entre el hombre y los animales que le servían de alimento.

El yacimiento arqueológico del Próximo Oriente, Ali Kosh, en Irán, pudo haber sido ocupado 7500 años antes de C. La datación de sus niveles inferiores es insegura, pero en uno de ellos se halló el cráneo de una oveja sin cuernos. Los carneros y las ovejas salvajes son cornudos, por lo cual un cráneo desprovisto de cuernos tiene que significar que en Ali Kosh había ovejas domésticas. En este yacimiento, los huesos de cabra son mucho más abundantes que los de oveja, y en un porcentaje elevado corresponden a machos jóvenes.

Çayönü, un poblado agrícola primitivo de Turquía, fue excavado, por primera vez, por Robert J. Braidwood y Halet Çambel en 1964. Probablemente comenzó a ser habitado un poco antes del año 7000 a. C.; se encontraron en él huesos de animales domésticos como ovejas, cerdos, perros y, probablemente, también cabras. En el yacimiento de Jarmo, en Iraq, datado en los alrededores del 6550 a. C., se encontraron restos de cabras domésticas con cuernos retorcidos. Los cuernos retorcidos son característicos de las cabras domésticas, y no de las cabras salvajes.

Los restos más antiguos de vacas domesticadas que se conocen en la actualidad proceden de Grecia, datándose hacia el 6500 a. C. Por aquel entonces, y durante mucho tiempo, esta especie animal había sido objeto de adoración, según parece. En Çatal Hüyük (h. 6500 antes C.), una localidad turca excavada por James Mellaart, se descubrieron más de 50 urnas sepulcrales; en su mayor parte estaban decoradas con cabezas y cuernos de toro. Las vacas provistas de joroba que asociamos actualmente con la India estaban representadas en figurillas mesopotámicas que se remontan hasta el 3000 a. C, aproximadamente. En cambio no se tiene rastro de ellas en la India hasta los alrededores del 2500 a. C. No disponemos de información alguna sobre la antigüedad de otros bóvidos, como el banteng *(Bos javanicus)* de Malasia, el mitán y el yak. El búfalo de agua fue conocido como animal doméstico en la India hacia el 2500 a. C., pero es posible que desde mucho tiempo antes hubiera sido usado ya para beneficiarse de su fuerza de tiro, carne y leche.

El asno trabajó ya como animal doméstico en Egipto hacia el 3000 a. C. y es posible que se le hubiera explotado desde antes; pero apenas si fue objeto de consumo (carne y leche). En cambio, el ganado caballar ha constituido un importante productor de carne y de leche para muchos pueblos. La leche de yegua fermentada sigue siendo muy apreciada en Asia; y en el mundo se consume, cada año, medio millón de toneladas métricas de carne de caballo *(véase la ilustración de la pág. 67)*. Se cree que el caballo fue domado primero en Asia central o Rusia meridional hacia el año 3000 a. C. El reno, un animal doméstico que es ahora el más común en Escandinavia y la URSS, fue probablemente apacentado por el hombre en fecha muy antigua, pero carecemos de pruebas seguras sobre ello. Entre los camélidos, las hipótesis más fundadas señalan el año 2000 a. C. para el dromedario y el 1500 a. C. para el camello bactriano; seguramente puede atribuirse una antigüedad parecida a los camélidos del Nuevo Mundo, la llama y la alpaca. Las cobayas de los Andes constituyeron probablemente un animal comestible domesticado hacia el año 2000 a. C.

Muchos yacimientos arqueológicos del Próximo Oriente encerraban restos vegetales muy antiguos. No se encontraron en Shanidar, pero en Ali Kosh aparecieron semillas de trigo de un grano y de trigo emmer, que se remontan aproximadamente al 7000 a. C., así como cebada, de época algo más reciente. En Çayönü se encontraron semillas de trigo de un grano, trigo emmer, guisantes, lentejas y arvejas, y se halló un surtido parecido de alimentos vegetales en los niveles neolíticos anteriores a la aparición de la cerámica, en Jericó, que también databan del 7000 a. C. Otros yacimientos documentan con bastante claridad una penetración progresiva de la agricultura en Grecia y los Balcanes y, a partir de allí, una expansión en abanico por toda Europa.

El sesgo de nuestros datos ha inducido a muchos a la conclusión de que fue el Próximo Oriente el centro de la domesticación de plantas y animales en el Viejo Mundo. Disponemos de un cuerpo de información bastante respetable para esta parte del mundo y un panorama más completo, si cabe, para Europa. Sin embargo, conviene avanzar con cautela; ninguna otra región del mundo ha sido tan bien explorada, con la excepción del hemisferio norteamericano, donde la agricultura llegó tarde, en términos relativos. Por ejemplo, casi no tenemos información arqueológica sobre Africa de un valor comparable a la que tenemos para el Próximo Oriente y Europa. En excavaciones realizadas en Africa se han descubierto restos vegetales, entre los que se encuentran el sorgo, el mijo perla y el mijo africano, pero todos los yacimientos son muy jóvenes y no pueden decirnos gran cosa. En el valle del Nilo aparecen hacia el 12.000 a. C. pruebas indirectas, tales como el descubrimiento de morteros y piedras de moler y hojas de sílex con un tipo particular de brillo o lustre, destinadas plausiblemente a segar gramíneas, pero desconocemos qué tipos de gramíneas pudieran ser. Algo parecido ocurre en la India: hay yacimientos excavados que presentan restos vegetales, pero pertenecen a épocas muy recientes

y no pueden proporcionar mayor información sobre los inicios de la agricultura. En la India se ha encontrado trigo y cebada procedentes del Oeste, arroz del Este y sorgo y mijos oriundos de Africa. Pero no ha aparecido todavía un testimonio firme de domesticación primitiva realizada en la misma India.

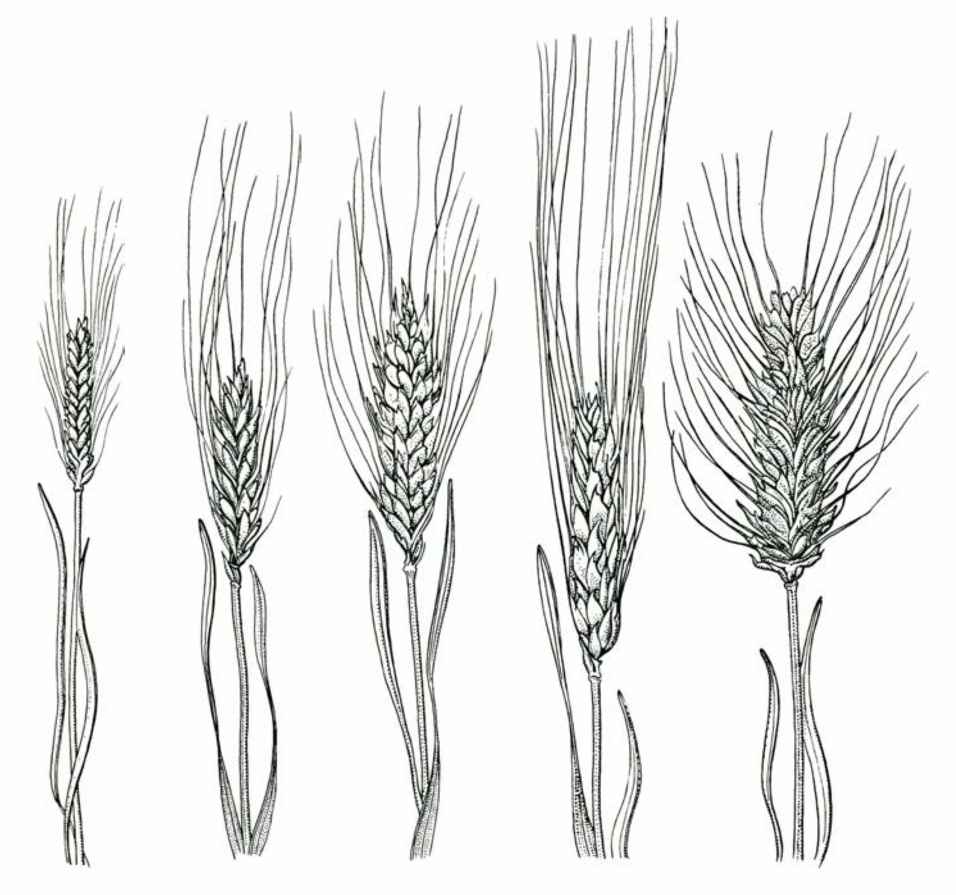
El neolítico chino se ha estudiado en una escala modesta. La cultura de Yang Shao es ahora bastante bien conocida, y en algunas localidades, como en Pan-P'o, han aparecido restos vegetales. Pero este poblado neolítico empezó a ser habitado alrededor del año 4000 a. C. Contiene, además, cerámica más o menos refinada y parece demasiado grande, complejo y desarrollado como para representar los inicios de la agricultura en el Extremo Oriente. En aquella época y en aquel lugar, la principal planta alimenticia cultivada era el mijo de cola de zorra.

Desde un punto de vista práctico, las investigaciones en el sudeste asiático acaban de empezar. En yacimientos de Tailandia se han encontrado restos vegetales primitivos, y existen incluso vestigios de una roturación primitiva de la tierra en la remota Nueva Guinea. En la actualidad, el cuerpo de información es demasiado pobre y fragmentario para permitirnos sacar conclusiones definitivas. Sin embargo, hay indicios de que los habitantes de esta región sembraron la tierra desde tiempos tan antiguos como los asignados a los pobladores del Próximo Oriente.

La situación en los dos hemisferios americanos ni es mucho mejor ni muy diferente. Se dispone de grandes cantidades de restos vegetales magníficamente conservados, procedentes de la zona costera del Perú, pero no es ésta una región adecuada para la innovación agrícola. Las excavaciones realizadas en Tamaulipas y en el valle de Tehuacán, en México, por Richard S. MacNeish, han puesto al descubierto un rosario de depósitos, de cuyo estudio parece deducirse que existía una explotación agrícola rudimentaria hacia el año 7000 a. C. Algo más tarde, los restos hallados son de plantas domesticadas (éstas datan, posiblemente, del 6000 a. C. y, con seguridad, del 5000 a. C.). Según parece, el maíz, las calabazas y el calabacín se sembraban en Tehuacán. Las judías aparecieron después del año 3000 a. C. Sin embargo, el clima de Tehuacán es demasiado seco, por lo que esta región no pudo ser el centro de origen de innovaciones agrícolas. Parece más probable que aportaciones que tuvieron lugar en otros puntos acabaran dejando huellas en aquella localidad, mientras que el propio valle habría quedado fuera de la corriente principal de la innovación agrícola. Más reveladoras son, probablemente, las investigaciones de MacNeish en Ayacucho, Perú. Aunque no encontró pruebas a favor de una agricultura primitiva en los altiplanos andinos, halló restos vegetales en los valles de montaña. En ellos, se cultivaron en los años 6000 a. C. judías y judías lima plenamente domesticadas. De ello se deduce que la agricultura pudo tener una tradición tan antigua en América del Sur como en el Próximo Oriente o en el sudeste asiático, aunque no se dispone actualmente de testimonios totalmente concluyentes.

Así pues, las pruebas en torno al "cuándo" parecen ser tan difusas e imprecisas como las que se refieren al "dónde". Sólo en parte, esto se debe a la insuficiencia de las investigaciones realizadas. Algunos puntos oscuros se refieren al resultado del proceso de la domesticación. Por causas sobre las cuales sólo podemos especular, todos los pueblos de diferentes partes del mundo parecen haber empezado los procesos de domesticación por la misma época. Este período se sitúa en las postrimerías de la última glaciación del Pleistoceno, cuando los grandes casquetes de hielo se habían fundido y el nivel de los mares había subido hasta alcanzar aproximadamente a nivel actual. No es éste el lugar para exponer las distintas teorías; basta con decir que la historia que vamos trazando, en cuanto a sus pilares de lugar (dónde) y tiempo (cuándo), se hace cada vez más compleja y oscura, mucho más de lo que cabría esperar.

Con el dónde y el cuándo de la domesticación dejados en el aire, ¿qué vamos a decir del cómo? Podríamos empezar por señalar que el cultivo y la domesticación de las plantas son dos conceptos que con frecuencia se confunden. El cultivo se refiere a los esfuerzos del hombre encaminados a cuidar las plantas; en este sentido es perfecta-

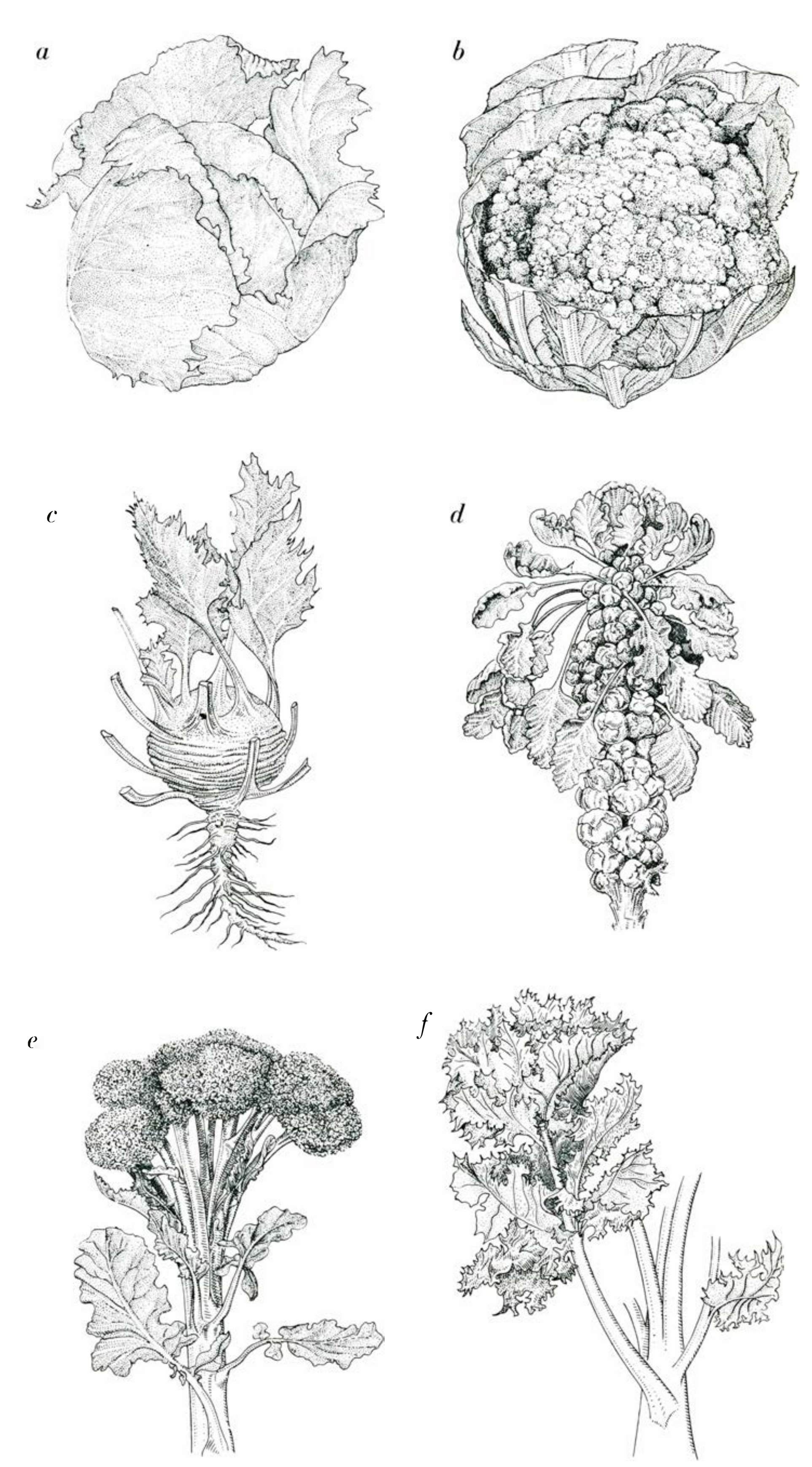


ESPECIES DE TRIGO. De izquierda a derecha, se representan las tres primeras en ser domesticadas: el trigo de un grano *(Triticum monococcum)*, en otro tiempo cultivado en Turquía y en Europa; el trigo emmer *(T. dicoccum)*, antaño cultivado en el Próximo Oriente, Africa y Europa; y una tercera especie sin nombre popular, *T. timopheevii*. A continuación se han dibujado los principales trigos actuales: el trigo duro *(T. durum)*, descendiente de la especie emmer, mutado, y trigo candeal *(T. aestivum)*, resultado de un cruzamiento entre el emmer o el trigo duro y *Aegylops cylindrica*.

mente posible cultivar plantas salvajes. La domesticación, del latín *domus*, que significa casa, hogar, implica incorporar la planta a la economía familiar. Esto representa mucho más que el simple cultivo. La domesticación implica cambios genéticos gracias a los cuales las plantas quedan mejor adaptadas a las condiciones de los ambientes humanizados, en el sentido de creados por el hombre, con detrimento de su adaptación a las características de los ambientes naturales. Al igual que con las plantas, es posible domar un animal salvaje sin domesticarlo. Sin embargo, los cambios genéticos que tienen lugar en el proceso de la domesticación se van acumulando hasta llegar un momento en que una planta o un animal, plenamente domesticados, sólo se hallan adaptados a un medio artificial y no podrían sobrevivir ya en libertad.

Existen caballos, bóvidos y camellos que escaparon a la domesticación en el oeste de Norteamérica en tiempos históricos y han sobrevivido. En cambio, las ovejas que escaparon a la domesticación tuvieron pocas posibilidades de supervivencia, a menos que quedaran protegidas frente a la acción de los depredadores. Las cabras que escapan continúan viviendo en ausencia de depredadores tal como ocurre cuando se les deja libres en una isla; si existen depredadores, viven bastante mal. De forma parecida, las razas domesticadas de maíz, trigo, arroz, patata, batata y la mayoría de las restantes plantas de cultivo, morirían de no mediar la intervención humana.

Al ser la domesticación un proceso evolutivo, se produce de forma gradual; cabe, pues, encontrar una serie completa de estados intermedios que vayan desde las razas salvajes hasta las razas plenamente domesticadas, las cuales dependen totalmente del hombre para su supervivencia. Todos estos estados intermedios pueden hallarse en la misma especie. La mayoría de nuestras plantas de cultivo presenta razas salvajes, arvenses (es decir, adaptadas a vivir como mala hierba) y domesticadas. Las salvajes pueden vivir sin el hombre, las arvenses sobreviven debido al hombre (y a pesar de sus esfuerzos para deshacerse de ellas) y las razas cultivadas exigen cuidados y cultivo para su supervivencia. Las malas hierbas son especies o razas que prosperan en los hábitat antropógenos, es decir, creados por el hombre; la mayoría de nuestras plantas de cultivo presentan en alguna zona



LA PRESION DE SELECCION ha producido seis tipos distintos de verduras a partir de una única especie, *Brassica oleracea*, una planta de la familia de la mostaza, dotada de una sorprendente capacidad para originar órganos de reserva de almidón según necesidad. La selección a favor del aumento de tamaño de las yemas terminales produjo la col *(a)*; a favor del desarrollo de las inflorescencias, la coliflor *(b)*; a favor del desarrollo del tallo, el colinabo *(c)*; a favor de las yemas laterales, las coles de bruselas *(d)*; a favor del desarrollo del tallo y de las flores, el bróculi *(e)* y, a favor del desarrollo de las hojas, la col rizada o bretón *(f)*, la más parecida a la planta salvaje.

razas arvenses. Existen razas arvenses de trigo, arroz, maíz, patatas, cebada, etc., de todas las que figuran en la relación de la página 66. Se propagan fácilmente, pero exigen el hábitat alterado por acción del hombre.

Este tipo de adaptación no se circunscribe a las plantas. Los gatos, perros y cerdos pasan fácilmente a la condición de fieras. La paloma, el gorrión y el estornino viven bien incluso inmersos en una intensa alteración antropógena, como sucede con las ciudades. El ratón, la rata de cloaca, la mosca común y la mosca de la fruta sacan buen partido de los hábitat artificiales creados por el hombre. ¿Y qué especie prospera mejor en los hábitat antropógenos que *Homo sapiens?* Somos nosotros las peores hierbas de todos los sembrados.

Estudios recientes dedicados a las razas arvenses ponen de manifiesto que su origen puede ser múltiple. Las mismas plantas genuinamente salvajes pueden presentar características arvenses; después de todo, muchos ambientes naturales, como los litorales, vegas de ríos, bordes de glaciares y taludes de fuerte pendiente son inestables, mientras otros están sujetos a alteraciones, como incendios forestales, huracanes, aludes y otros cataclismos. Muchas especies salvajes ocupan estos nidos, y algunas de nuestras plantas de cultivo derivan de plantas salvajes que presentaban precisamente estas tendencias colonizadoras. Otras plantas arvenses se originaron por cruzamientos naturales entre razas salvajes y domesticadas, y otras proceden del asilvestramiento de plantas medio domesticadas. La hibridación entre plantas cultivadas y plantas arvenses emparentadas con ellas ha desempeñado un papel importante en la evolución de las plantas de cultivo, a través del aumento de la diversidad y la aparición de estructuras que conferían mayor eficacia a la población. En los primeros tiempos de la ganadería, las interacciones genéticas entre los animales domésticos y sus parientes próximos de vida salvaje constituyeron probablemente un elemento de gran importancia. Este proceso es hoy relativamente raro, debido a que las razas salvajes próximas a las domésticas han ido disminuyendo o se han extinguido; en el sudeste de Asia, sin embargo, existen todavía gallinas que se cruzan con gallos salvajes, y, en Nueva Guinea, algunas cerdas son cubiertas por jabalíes.

Probablemente el proceso de la domesticación de las plantas empezó con el uso intensivo de la planta en cuestión por parte del hombre, lo cual acarreó una dependencia parcial entre éste y la planta. De forma inevitable, esta relación fue aumentando en intensidad. Por ejemplo, la recolección por el hombre de semillas de plantas salvajes habría tenido un efecto relativamente pequeño sobre la estructura genética de las poblaciones de tales plantas, de no ser porque el mismo hombre sembraba una parte de lo que había recolectado. Cuando las semillas se plantan de forma deliberada, la composición de la generación siguiente depende de lo que el hombre recolecta, y así algunos cambios genéticos se tornan virtualmente automáticos. En las plantas de cultivo apreciadas por sus semillas comestibles, la respuesta genética más frecuente consiste en un progresivo desplazamiento hacia la indehiscencia, es decir, en una pérdida gradual de la capacidad natural de dispersión de las semillas. Las panículas y espigas de los cereales se hacen tenaces y no se fragmentan llegada la madurez. Las vainas y cápsulas dejan de abrirse más o menos violentamente para dispersar sus semillas una vez maduras. Perdidos ya los mecanismos naturales de dispersión de las semillas, las plantas pasan a depender del hombre para su supervivencia. Quedan domesticadas, por lo menos en parte. Los cambios genéticos pueden ser muy simples, y frecuentemente están regulados por un solo gen.

Existen otros cambios que se realizan también más o menos automáticamente. Las semillas de las plantas salvajes entran con frecuencia en un letargo o reposo al llegar a la madurez; e incluso, cuando las condiciones son favorables para su germinación, no germinan hasta la temporada adecuada. Se trata de una cabal adaptación en el caso de las especies salvajes, pero que no puede ser en absoluto conveniente para la agricultura. Cuando esto ocurre, la selección en contra del letargo o por lo menos a favor de un letargo que se interrumpa al aproximarse el tiempo de la siguiente, es automático. Por la misma causa, se producirá una selección automática a favor de las semillas de mayor tamaño en los viveros en que se produzca una competencia entre las plántulas. Las semillas grandes poseen reservas alimenticias más completas y por ello consiguen producir plántulas más vigorosas; las primeras plantas en crecer y las que presentan un máximo vigor de plántula son las que más probabilidades tienen de producir el máximo de semillas en la generación siguiente. Existen otras presiones de selección automática que permiten adaptar las plantas a las condiciones de un campo de cultivo. Se establece una selección disruptiva: la selección natural hace que las poblaciones salvajes conserven sus adaptaciones, pero los ciclos repetidos de siembra y recolección acaban por modificar las poblaciones cultivadas en la dirección de una adaptación al campo de cultivo o al jardín. Esta divergencia genética se mantiene con facilidad incluso cuando existe una considerable hibridación entre las poblaciones salvajes y las cultivadas.

Amén de las presiones de selección, espontáneas, el hombre interviene mediante procesos de selección deliberados e intencionales. Estos procesos pueden apuntar hacia direcciones diferentes y lo menos que podemos decir de ellos es que pueden ser caprichosos. El hombre selecciona maíz para su cocción, para freír palomitas, tostar la mazorca entera, buscar una determinada calidad de harina, preparar maíz triturado, fabricar cerveza o bebidas no fermentadas, obtener tintes o incluso son finalidades rituales y religiosas. Puede seleccionar arroz, glutinoso o no glutinoso, de grano largo o de grano corto, arroz rojo, arroz blanco o arroz aromático. Selecciona cebada para su alimentación, para fabricar cerveza, como forraje para el ganado, para procesarlo con su equipo de molienda o por la facilidad de su recolección. Al hombre le gustan los colores vivos y las variantes curiosas o raras, y por ello protege formas vegetales que en condiciones naturales no tendrían ninguna probabilidad de sobrevivir.

La parte de la planta que reviste mayor interés para el hombre es la que sufre las modificaciones más notables. Si lo que se cosecha es un tubérculo, la máxima variación y la más intensa desviación a partir del tipo salvaje se encontrará en el tubérculo. Si es un cereal, las partes más modificadas serán la inflorescencia y los granos de que es portadora. Un ejemplo clamoroso es el de la especie de la col, *Brassica oleracea,* que a resultas de la acción humana, ha sufrido media docena de modificaciones distintas. Esta especie tiene una notable capacidad para desarrollar órganos de reserva de almidón según las necesidades. En la col común, el órgano de reserva es la yema terminal; en la coliflor, la inflorescencia; en el colinabo, el tallo; en las coles de bruselas, las yemas laterales; en el bróculi, los tallos y las flores; y, en

la col rizada o bretón, las hojas. Todas estas hortalizas evolucionaron por selección a partir de *B. oleracea* salvaje. A pesar del aspecto tan distinto que presentan estas plantas, todas ellas pertenecen a la misma especie y son plenamente fértiles cuando se las cruza. La col rizada está más próxima al tipo salvaje.

Las remolachas constituyen un nuevo ejemplo. La remolacha común, la remolacha forrajera, la remolacha azucarera y el cardo suizo son formas que derivan de *Beta vulgaris*. Unos pueblos las seleccionaron por las hojas, otros por las raíces y otros por el azúcar. Podrían ponerse aún numerosos ejemplos más. La diversidad de lechugas que se expenden en un mercado comarcal italiano resulta sorprendente para los que solamente compran las lechugas en venta en un supermercado norteamericano. Las estrategias de selección en las judías han tomado dos direcciones principales: judías secas y judías verdes. La selección operada en los guisantes se ha centrado en las formas seca, verde y guisantes de legumbre carnosa. El resultado final a que conduce una presión de selección tan intensa y divergente es la producción de monstruos morfológicos, completamente dependientes del hombre para su supervivencia. Tales plantas están entonces plenamente domesticadas.

En principio, la domesticación de animales no es distinta. El proceso se inicia con una íntima relación entre el hombre y el animal y una parcial dependencia del animal por parte del hombre. Esto puede reflejarse en una forma selectiva de caza o de trato de la manada. Más pronto o más tarde, los animales son domados. Por regla general, esto no es difícil. Los animales jóvenes criados dentro de la casa o cerca de ella, con frecuencia se doman por toda su vida. Sólo algunas especies animales son reacias y cuesta domarlas, pero otras muchas, que nunca fueron domesticadas, se muestran sumamente dóciles. Es indudable que en el transcurso de la domesticación se produjo cierta selección a favor de los genes que confieren docilidad. En el caso de los bóvidos y los cerdos, la selección condujo a animales de menor tamaño, más fáciles de gobernar, y también aparecieron razas enanas de otros varios animales domésticos.

Existen experimentos recientes que pueden servir como modelo de lo que probablemente ocurrió en un pasado remoto. Por ejemplo, se ha domado el buey almizclero para aprovechar su lana, extraordinariamente fina. Se planeó el proyecto con la finalidad de proporcionar ingresos económicos a los esquimales y a otras poblaciones nórdicas cuyas culturas tradicionales, basadas en la caza, habían sido trastornadas. A pesar de su reputación de agresividad, el buey almizclero ha demostrado ser tratable y dócil en condiciones de cría artificial. Otro ejemplo es el del alce africano, introducido en Rusia hace un siglo a modo de experimentación. Se adaptó muy bien al confinamiento, y la selección a favor del aumento en la producción de leche condujo a un incremento en dicha producción de más del 400 por ciento con respecto a la de los animales salvajes. Se puede considerar que el alce lechero es un animal doméstico.

La reproducción selectiva de animales domados o confinados acaba por conducir a la obtención de razas y estirpes domesticadas que no podrían sobrevivir ya en la naturaleza, aún cuando la especie pudiera subsistir, de suyo, sin la ayuda del hombre. Tipos extremos tales como el perro pequinés, el pez rojo de ojos saltones, los pollos provistos de plumas de 5 metros, las palomas de buche hinchado, los ratones "waltzing" y la mayoría de animales de laboratorio (ratones, ratas, conejos y las razas mutadas de moscas de la fruta) han sufrido cambios genéticos tan fuertes que les inducen a depender del hombre para de supervivencia.

Si la dependencia total es una consecuencia de la domesticación, ¿qué podemos decir de la situación en que se encuentra el hombre? Al hombre le gusta pensar que tiene a su cargo las plantas y animales que empezó a incorporar a su economía hace varios miles de años, pero de hecho es él quien ha sido domesticado por ellas. Muchas especies no pueden sobrevivir sin el hombre, pero es indudable que éste las necesita esencialmente para su propia supervivencia. Dicho de una forma más precisa, el hombre y sus especies domesticadas han ido quedando estrechamente ligados a lo largo de milenios por efecto de una evolución adaptativa conjunta. La peculiar evolución humana es, sobre todo, social y cultural, mientras que la evolución de las plantas y animales domesticados por el hombre ha exigido notables cambios genéticos y la aparición de rasgos morfológicos nuevos y sorprendentes. Aunque el hombre debe cuidar de sus especies domesticadas, la población humana come o muere de hambre según sea el rendimiento de este reducido número de plantas y animales.



Sistemas agrícolas

Están constituidos por una combinación de factores ecológicos, económicos y culturales. El problema que se plantea actualmente es el de cómo los países en vías de desarrollo pueden establecer sistemas de elevado rendimiento basados en el cultivo de cereales

Robert S. Loomis

En Estados Unidos se habla del cinturón de maíz y del cinturón del trigo, para designar el papel predominante de estas plantas en determinadas zonas. Los sistemas agrícolas de otras partes del mundo pueden quedar también caracterizados de una forma parecida en razón de los cultivos dominantes. Pero en casi todas las regiones se cultivan asimismo otras especies, asociadas a veces de un modo bastante complicado con el cultivo principal. El tipo de explotación agrícola que ha ido apareciendo en cada región es, en parte, resultado de los factores ecológicos –interrelación especial de clima y de suelo– y, en parte, resultado de los factores económicos y culturales que han actuado en tal población campesina.

Si nos fijamos en una región extensa, advertiremos variaciones notables en las prácticas y faenas agrícolas. Las explotaciones agrícolas varían en tamaño, en intensidad del aprovechamiento y en los tipos agropecuarios subsidiarios que acompañan al cultivo dominante. A pesar de la diversidad de sistemas agrícolas, en realidad pueden distinguirse sólo cuatro tipos de actuación agrícola, que se caracterizan por el tipo de cultivo en cuestión. El primer sistema se basa en el cultivo de especies vivaces, árboles o vides; está representado por explotaciones agrícolas del tipo de huertas de frutales, viñas y plantaciones de caucho. En el segundo tipo de actuación, el papel protagonista corre a cargo de plantas cultivadas, como maíz y trigo; se vuelven a sembrar en los surcos recién arados después de la recolección. El tercer sistema consiste en el aprovechamiento de prados permanentes para pastos; el cuarto se caracteriza por la alternancia de plantas cultivadas y gramíneas u otras plantas forrajeras.

Un estudio detenido de los tres últimos sistemas de cultivo pone de manifiesto algunos factores ecológicos que influyen en los tipos de agricultura. El cinturón maicero norteamericano es una región dedicada principalmente al cultivo, siendo el maíz el producto más importante (que se siembra, sobre todo, para recoger el grano). En esta región abundan los llanos, de suelo fértil y bien drenado. Los campos se siembran principalmente de maíz, pero la soja constituye un importante cultivo secundario. En las zonas de relieve más accidentado, de suelo pobre y sujetas a erosión, existe la tendencia a establecer un sistema de rotación entre los cultivos principales y los forrajes que, como la alfalfa, enriquecen de materia orgánica el suelo. Los lugares más pobres se dejan como pastos permanentes de gramíneas *(Poa)* "indígenas" o se siembran en ellos gramíneas seleccionadas o leguminosas para dedicarlos también al consumo animal durante todo el año.

El clima tiene mucho que ver en esa atención primordial prestada al maíz. Es necesario que la temporada cálida tenga por lo menos 120 días de duración, con una temperatura superior a 10º Celsius, con una humedad generalizada y bien distribuida durante toda la fase de desarrollo. Las regiones centrales de Iowa e Illinois (Estados Unidos) cumplen bien estos requisitos. En la parte central de Minnesota, el cultivo del maíz se ve limitado por las bajas temperaturas, mientras que al este de Nebraska el factor limitante es la pluviosidad insuficiente. La importancia del maíz en las regiones este y sur de los Estados Unidos se ha visto en parte limitada por la excesivamente baja fertilidad del suelo. El maíz constituye un cultivo preponderante en otras muchas regiones del mundo, a saber: México, América Central, Argentina, Indonesia, Tailandia y ciertos países de Europa, sobre todo, los estados balcánicos.

La humedad reinante en las llanuras occidentales de los Estados Unidos resulta insuficiente para el desarrollo del maíz, que sólo se cultiva donde llega el agua de riego. El trigo, que predomina en las tierras cultivables semiáridas, reúne las condiciones ideales para esta región, por ser una planta de cultivo con una baja exigencia en agua y una gran tolerancia para la sequía. En las regiones semiáridas de Africa, en ciertas zonas de la India y en el sudoeste de Estados Unidos, en donde las escasas precipitaciones se registran principalmente durante la estación cálida, son comunes el sorgo y el mijo, toda vez que se trata de granos que toleran la sequía.

A diferencia del maíz y del mijo, el trigo crece bien durante las temporadas frías de la primavera y del otoño, cuando remite la evaporación y las exigencias hídricas de la planta son, por tanto, moderadas. En las llanuras meridionales (Oklahoma y Kansas) existe la costumbre de plantar trigo de "invierno" en otoño. La espiga florece y grana durante la primavera, después de haber sido vernalizada, es decir, inducida a la floración, por las bajas temperaturas sufridas durante el invierno. Más al norte, en donde el trigo no sobreviviría debido a la crudeza de la estación fría, a principios de primavera se planta trigo de verano, que no requiere vernalización.

SIEGA DE UN TRIGAL por una flotilla de cosechadoras, en los altiplanos orientales del estado de Washington (Estados Unidos). La escena de la recolección es típica de las faenas a gran escala propias de los cinturones trigueros de los Great Plains (EE.UU.), de la URSS y de otras regiones.

Las variedades de trigo que maduran pronto pueden plantarse incluso en ambientes en los que las precipitaciones sean muy bajas. En las regiones más secas se planta trigo únicamente en años alternos. Después de una cosecha, la tierra se deja en barbecho, se la mantiene libre de vegetación durante un año para que el agua del suelo se acumule hasta alcanzar un nivel tal que permita soportar la cosecha siguiente de trigo. Como ocurría en los sistemas basados en el maíz, las tierras marginales se dejan para pastos. La cantidad de forraje producido es baja; por consiguiente, las explotaciones ganaderas del Oeste exigirán una densidad de población animal muy pequeña.

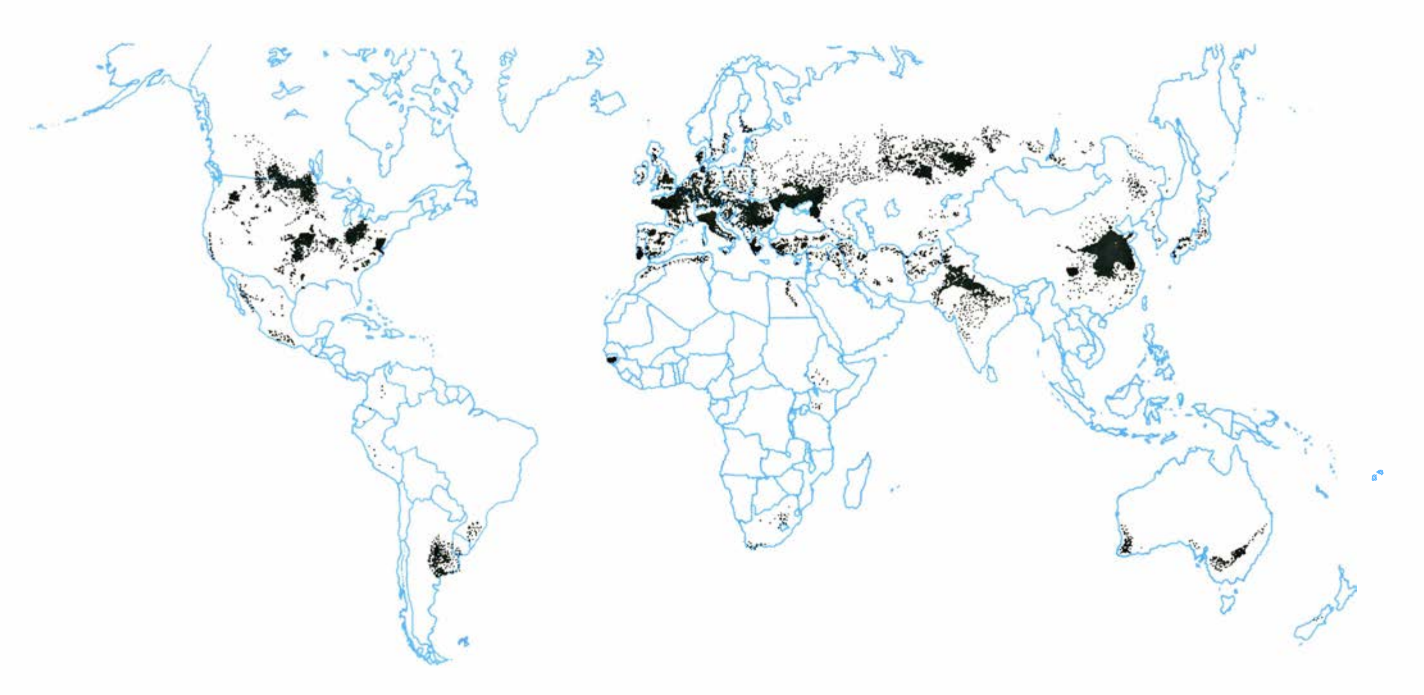
Los sistemas agropecuarios de Holanda y Dinamarca presentan un neto contraste con los sistemas agrícolas cuya plantación predominante es el maíz y el trigo. Los suelos de la región, bajos y densos, suelen ser demasiado fríos y húmedos para las plantas de cultivo. Por ello se siembran de raigrás perenne, que tiene las raíces poco profundas, crece bien en tiempo frío y da una buena producción desde mediados de primavera hasta mediados de otoño.

El tratamiento que se da a los pastos de esta región se basa en una intensa fertilización y en un pastoreo rotatorio cuidadosamente regulado. Los animales pasan de uno a otro pasto de forma sucesiva, con lo cual cada prado dispone de un período de tiempo para recuperarse después de haber sido intensamente explotado. Suele segarse una parte de los prados para obtener heno o para el ensilaje y así alimentar el ganado durante el invierno. En otras partes del mundo suele añadirse a los prados de pastos una leguminosa que sirva de fuente de nitrógeno. Las especies de gramíneas y de leguminosas se seleccionan de acuerdo con su adaptabilidad al clima local y a las condiciones del suelo.

En estos tres sistemas podemos ver que la reunión de varios factores limita ecológicamente el cultivo posible en una zona determinada. Entre los factores se encuentran la intensidad y la distribución estacional de la insolación, la temperatura y la lluvia, las características del suelo, la topografía de los campos y los tipos de plagas y enfermedades a los cuales está expuesta la planta cultivada. Estos factores determinan si es posible o no introducir una cierta planta de cultivo en una zona dada. Sin embargo, la selección real de las plantas de cultivo depende de gran medida del entorno económico y cultural de la sociedad que se ocupa de la actividad agrícola. Igual ocurre con la forma e intensidad del cultivo. Se llega a la conclusión de que la densidad de la población, la distancia al mercado, el nivel de la tecnología y la herencia cultural de la sociedad parecen desempeñar un papel tan importante como las fuerzas naturales.

En un análisis de los sistemas agrícolas, no se puede mantener completamente aislados los factores sociales, por la sencilla razón de que la agricultura y el resto del sistema social evolucionaron conjuntamente. Se observan intensas interacciones de realimentación *(feedback)* que establecen un reajuste continuo en cada sector. Los sistemas agrícolas actuales son los que han sobrevivido de entre una enorme cantidad de experiencias acumuladas por el hombre. A lo largo de milenios, el hombre se ha ido alimentando de varios miles de plantas, de las que domesticó unos cuantos centenares. La agricultura ha potenciado las plantas que ofrecen un elevado rendimiento en producto almacenable por unidad de esfuerzo humano, plantas que son "seguras" porque sus características biológicas son razonablemente estables y que, además, satisfacen las necesidades nutritivas básicas.

Ahora nos interesa sobre todo conocer hasta qué punto estos sistemas resultan adecuados para el futuro. Necesitamos saber si tienen suficiente flexibilidad, seguridad y eficacia productiva que permita satisfacer las exigencias de una demografía en rápida expansión. Las respuestas a estas preguntas debemos buscarlas en el análisis que considere a la agricultura como un sistema de cadenas alimentarias polarizadas en el hombre, en el análisis que explique por qué ciertas plantas de cultivo llegaron a dominar en determinados sistemas agrícolas y de qué forma la nutrición vegetal y los factores sociales se convierten en puntos de meditación del máximo interés para el futuro de la humanidad.



LAS PRINCIPALES ZONAS TRIGUERAS del mundo están representadas en negro. Cada punto representa 27.000 Tm; el total mundial alcanza los 350.000.000 Tm por año. Este mapa (y siguientes) se basan en datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

El hombre, como omnívoro flexible que es, puede ocupar cualquier lugar a lo largo de la cadena de especies animales que subsisten gracias a la vegetación. La cadena real suele ser bastante corta, es decir, aparece un consumo directo de la vegetación o bien de productos animales que se alimentaban directamente de las plantas. La ganadería desempeña un papel clave en muchos sistemas agrícolas; en efecto, el grado de complicación más importante de una agricultura depende directamente de la especie animal criada y de la correlación o importancia relativa de las plantas destinadas al alimento humano respecto a las plantas forrajeras. La canalización de la producción orgánica se ve auxiliada por la lucha contra la abundancia de plantas competidoras (malas hierbas) y animales dañinos (los insectos) y por la importancia progresiva que se logre dar al mejor aprovechamiento de los recursos naturales y de la fotosíntesis aplicada a plantas nutritivas.

La cadena alimentaria más sencilla consiste en cultivar plantas y consumirlas en todo o en parte. La eficacia de la transferencia de energía y de proteínas puede ser muy elevada en este tipo de cadena, en virtud de la cual podría mantenerse una población humana densa. Es frecuente encontrarse con que del 30 al 40 por ciento de la producción neta de las plantas puede cosecharse en forma de alimento y que el hombre puede digerir del 70 al 80 por ciento del alimento cosechado. Sin embargo, en muchos otros casos estos números son más bajos; existe, por tanto, un gran campo para la mejora. Habría que hacer todo lo posible por lograr una productividad fotosintética máxima de la planta, asegurándose al mismo tiempo de que la mayor parte de esta productividad pasara al producto comestible en lugar de perderse en procesos de mantenimiento de la planta o en forma de residuos.

Un problema análogo de reparto aparece en el caso de la composición química de los alimentos. El contenido de proteínas, en materia seca, de varios alimentos vegetales varía desde aproximadamente un 6 por ciento a más del 20 por ciento. Los sistemas agrícolas que se basan en una producción de proteínas relativamente baja presentan una ventaja clara, puesto que permiten obtener una producción total de alimento, por unidad de superficie (es decir, por unidad de radiación solar de agua o de nitrógeno edáfico) o por unidad de esfuerzo, mayor. La planta fabrica proteínas a través de procesos bioquímicos que requieren un gasto de energía, como la absorción y reducción de nitrógeno en forma de ion nitrato. La energía procede de la oxidación de los glúcidos, los cuales se acumularían en forma de alimento si no hubieran de oxidarse. En consecuencia, la producción en materia orgánica total de un cultivo suele estar inversamente relacionada con su contenido en proteínas. Las materias vegetales de bajo contenido proteico pueden ser perfectamente satisfactorias como alimento. Desde el punto de vista de nutrición de un adulto, una dieta a base de cereales, cuyo contenido en proteínas sea sólo de 10 a 12 por ciento (en peso) es adecuada en lo que respecta a su equilibrio en proteínas y en aminoácidos esenciales. Las dietas humanas están actualmente más limitadas por su contenido en energía (calorías) que por su contenido en proteínas. La evolución de la agricultura basada en los cereales está en consonancia con esta idea. Los cereales de grano pequeño (trigo, cebada, centeno, avena y arroz) y los de grano grande (maíz, sorgo y algunos mijos) satisfacen en conjunto más del 50 por ciento de las necesidades en proteínas y energía del mundo. Si tenemos en cuenta las grandes cantidades de grano que se transforman en carne, leche y huevos por acción metabolizadora de la ganadería, y, en bebidas alcohólicas y otros productos, por acción de los microorganismos, llegamos a la conclusión de que el 75 por ciento de las necesidades en energía y proteína del hombre proceden de los granos cultivados.

La enorme importancia dada a los cereales no hay que imputarla sólo a su valor como alimento, sino que se debe también a la facilidad de su cultivo, recolección, transporte y almacenamiento. Además, la respuesta de los cereales al clima es bastante plástica; maduran dentro de un período de desarrollo bastante corto, por lo cual su vulnerabilidad por condiciones climáticas adversas es baja.



LA PRODUCCION DE ARROZ tiene como centro principal Asia; pero esta planta se cultiva también en otras varias regiones de clima cálido y con buenas disponibilidades de agua. Cada punto representa 45.000 Tm; el total mundial alcanza los 300.000.000 Tm por año.

En los trópicos, en donde el almacenaje es difícil y la época de desarrollo larga, los sistemas agrícolas tienden a dar especial importancia a las plantas de producción continua y a las sucesiones de cosechas a lo largo del año. Las plantas que producen raíces y tubérculos alimenticios, como las patatas, mandioca, ñames y taro, están adaptadas a estos sistemas. Proporcionan aproximadamente un 8 por ciento de la energía y un 5 por ciento de las proteínas que el hombre encuentra en los alimentos. Los guisantes, judías, frutos secos (nueces, almendras, etc.) y las semillas oleaginosas aportan un 5 por ciento de la energía y un 12 por ciento de las proteínas; las plantas ricas en azúcar aportan aproximadamente un 9 por ciento de la energía. Según datos recogidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), otros frutos y vegetales aportan sólo un 2 por ciento de las necesidades en calorías y menos del 1 por ciento de las exigencias en proteínas. Estos datos probablemente subestiman la importancia de estos alimentos en los trópicos, y las cifras serían más altas si se tuviera en cuenta en las estadísticas la producción de las explotaciones familiares. La importancia relativamente pequeña de estos cultivos está relacionada en parte con los problemas de transporte y almacenamiento del producto fresco.

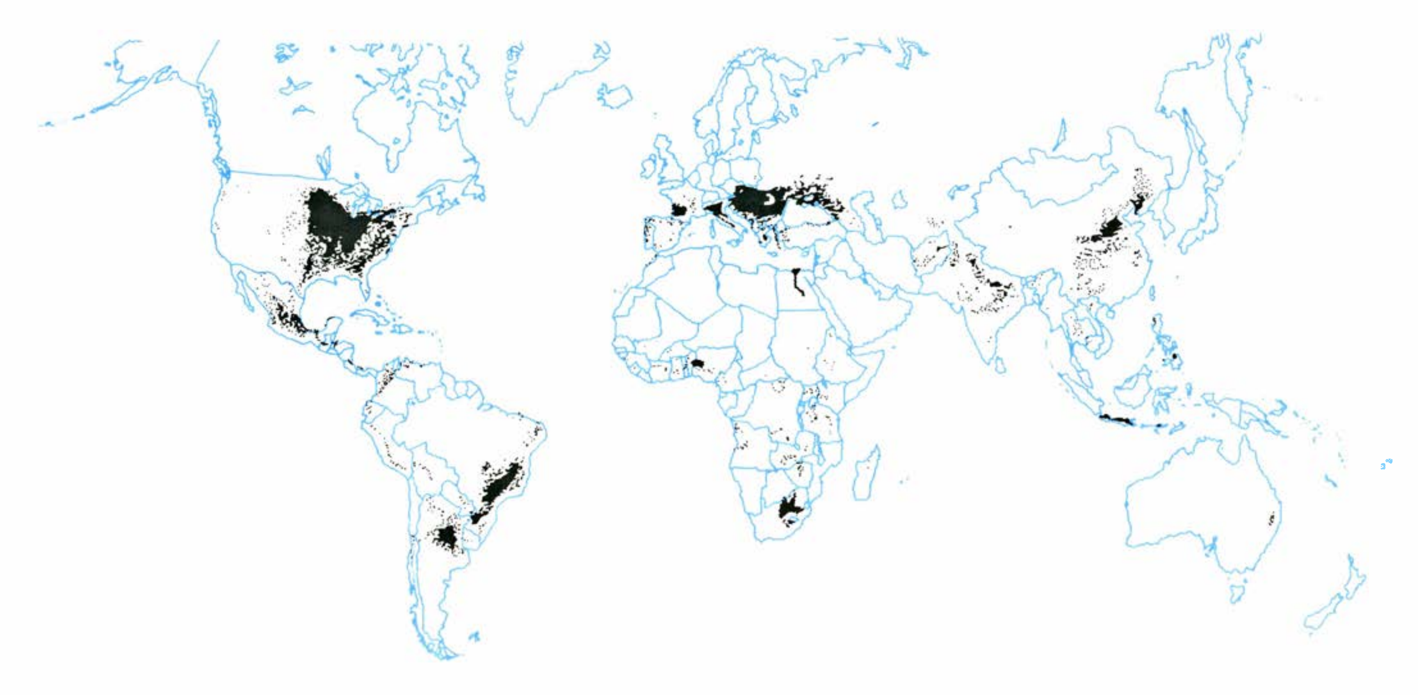
A escala mundial, la especie humana depende actualmente de 11 especies vegetales que le suministran el 80 por ciento de sus alimentos. Esta opción no está tan limitada como pudiera aparentar. Muchas de estas especies vegetales representan enormes complejos genéticos; algunas, como el trigo y el maíz, presentan mayor diversidad que la que se puede encontrar en las especies salvajes más diversificadas. Seleccionar e incrementar esta diversidad son dos objetivos importantes para botánicos y agrónomos, entre los cuales está generalizada la opinión de que convendría aumentar considerablemente los esfuerzos en esta dirección.

Además, la mayoría de las especies que alimentan al hombre pueden vivir bien en numerosos ambientes distintos, lo que permite realizar amplias substituciones de cultivos y empleos. Por ejemplo, aunque el trigo vaya ganándoles terreno paulatinamente al centeno, la cebada y la avena en su papel tradicional de cultivos de zona templada, empleados en la alimentación del hombre, éstos siguen siendo (con el maíz y las patatas) cultivos alternativos para esta región. El llamado triticale, una nueva especie aparecida a partir de híbridos de trigo y de centeno, presenta también rasgos apropiados. En el caso en que fallara un determinado cultivo, como el trigo, la solución depende de la percepción del problema por parte del hombre, de su deseo de aplicar cambios y de su rapidez en ponerlos en práctica más que de la resolución teórica de si existen o no alternativas suficientes.

El carácter dominante de un cultivo en una determinada región se establece como resultado de la integración de varios factores económicos y ecológicos. El cultivo dominante está bien adaptado al medio y produce un alto rendimiento. Asimismo, encaja perfectamente en un plan de gestión agrícola y su riesgo de fracaso es relativamente bajo. Hay un mercado que posibilita que el producto sirva como base para que el agricultor pueda obtener unos ingresos suficientes. En suma, el sistema está en armonía con las condiciones locales.

Cuando un sistema de cultivo tiene éxito, éste actúa como fuerte incentivo a favor de su extensión a los ambientes marginales. En las zonas limitantes, en donde la vulnerabilidad del cultivo a las condiciones meteorológicas adversas es más elevada y la producción más baja, puede substituirse el cultivo preponderante por otro sistema basado en un cultivo más seguro. Fuerzas de este tipo son las que intervienen en la substitución del maíz por trigo en regiones de baja pluviosidad. A raíz de esa tendencia a invadir las zonas marginales, la investigación agrícola en los Estados Unidos se ha dedicado especialmente a la creación de estirpes capaces de soportar las condiciones relativamente desfavorables de tales zonas.

Además, el papel preponderante del maíz y de la soja en cualquier zona apropiada (verbigracia, en Iowa, Estados Unidos) no significa que no sea posible sembrar allí otras plantas de cultivo.

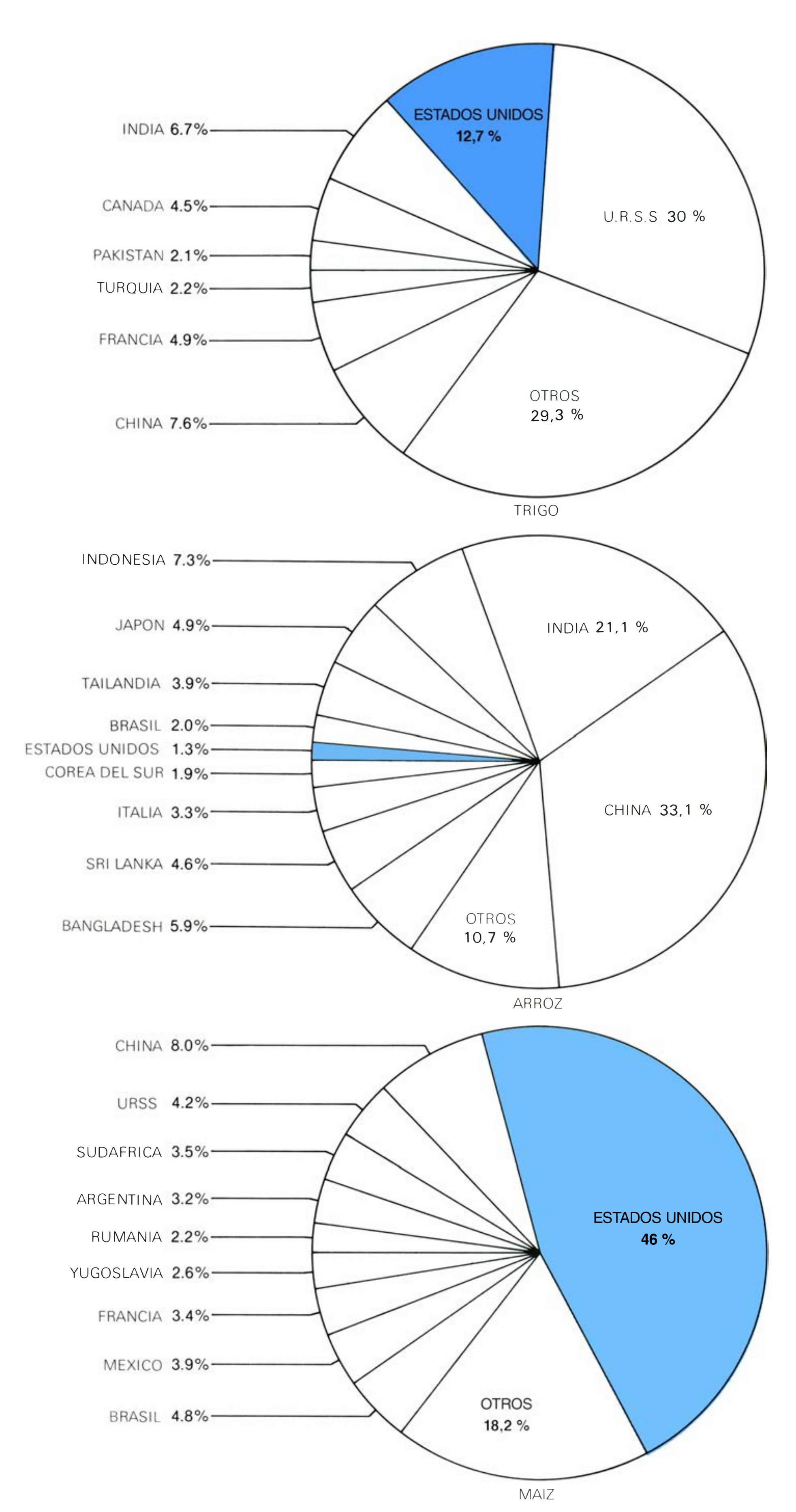


LA MAYOR PRODUCCION DE MAIZ corresponde a Estados Unidos, que aporta casi la mitad de la producción mundial. Se cultiva en regiones con riego abundante y una temporada cálida de 120 días, cada punto representa 25.000 Tm; el total anual es de 300 millones.

El maíz y la soja podrían ser sustituidos por trigo, patatas, remolacha azucarera y varias especies más, pero en las condiciones actuales serían menos productivas desde el punto de vista económico. Las necesidades cotidianas de estos productos se satisfacen gracias a la producción procedente de otras zonas, aún cuando su rendimiento sea en ocasiones inferior que el que se obtendría en Iowa.

La valoración de los riesgos y de las ganancias en estas condiciones depende grandemente del comportamiento de los sistemas agrícolas. Los problemas se simplifican cuando el agricultor centra su actuación en un sistema de riesgo bajo comprobado. Con frecuencia esto exige reducir al mínimo la diversidad. Con sólo unas pocas plantas de cultivo el agricultor puede adquirir, a través de la experiencia y de la educación, una gran destreza para reaccionar ante las adversidades comunes del clima, plagas y comercialización. Un agricultor que intente compensar los riesgos ligados a las condiciones meteorológicas mediante el cultivo de muchas especies encuentra siempre mal tiempo. Parte del sistema resulta siempre afectado, sea cual sea la secuencia del tiempo; también se reduce la capacidad del agricultor para reaccionar ante las distintas adversidades aunque sean habituales. Sin embargo, las explotaciones agrícolas simplificadas sólo pueden darse con el empleo de máquinas o en las regiones en donde el peonaje es barato. Las explotaciones agrícolas en régimen de trabajo intensivo que podemos encontrar en la India y en otros países en vías de desarrollo suelen ser muy diversificadas. Las necesidades de mano de obra quedan de este modo repartidas con mayor regularidad, reduciendo la demanda para temporadas cortas. Además, en una agricultura de subsistencia es deseable que los alimentos producidos sean muy diversos. Por otra parte, el riesgo climatológico y otros problemas son graves, aun cuando se establezca una compensación entre distintas especies. En general, la diversificación especial (repetir la misma siembra en diferentes regiones) tal como se practica en las explotaciones agrícolas comerciales de Estados Unidos y Australia, resulta una estrategia más segura que la diversificación de empresas (cultivar muchas plantas en la misma región).

Los riesgos pueden modificarse sensiblemente con la introducción de la tecnología. Una forma básica de afrontar el problema ha sido la mejora del nivel de tolerancia al medio ambiente (por



DISTRIBUCION DE LA PRODUCCION de trigo, arroz y maíz según las principales naciones que intervienen en su cultivo. Cada ilustración representa la aportación a la cosecha anual del producto en cuestión por parte de los principales países productores. Datos aportados por U.S.D.A.

ejemplo, aumentando la resistencia de una determinada especie a las enfermedades) mediante cruzamiento y selección de las plantas. Los sistemas de irrigación, tractores, secaderos artificiales y pesticidas pueden tener efectos muy semejantes.

Al mismo tiempo, pueden emplearse también las tecnologías que reducen los riesgos al aumentar los ingresos de otra manera, mientras se mantiene el nivel de riesgo inicial. Por ejemplo, un tractor grande permite paliar los efectos de una primavera húmeda al acortar el tiempo que exige la preparación de la tierra antes de la siembra, y puede emplearse también para cultivar una mayor extensión de tierra con el mismo trabajo. De forma parecida, la instalación de un secadero de grano para hacer frente a condiciones imprevistas de frío y humedad en el momento en que las variedades usuales de grano maduran, puede destinarse todo el año a variedades de período de crecimiento largo, que tienen una producción más elevada y de mayor rendimiento.

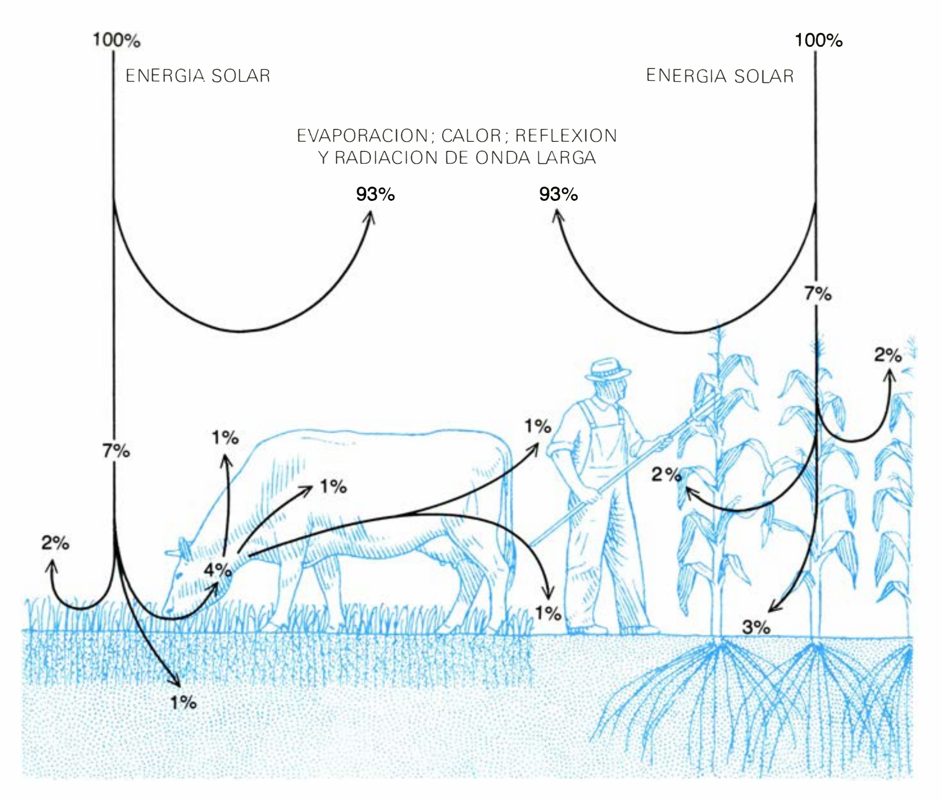
Los factores que determinan la producción agrícola son complejos. Sin embargo, contrariamente a la opinión sostenida por muchos, la capacidad de las plantas para la fotosíntesis raramente es un factor limitante; los nutrientes, el agua y la temperatura son los que realmente suelen limitar el crecimiento de las plantas a una fracción de su potencial fotosintético. La nutrición de los vegetales presenta serios problemas para el futuro de la agricultura, probablemente más serios, a largo plazo, que los cambios climáticos y otros acontecimientos que pueden afectar a la agricultura en una gran escala. Después de un cierto período de tiempo, la tasa de producción de sistemas agrícolas estables, y perfectamente administrados, equilibrará la tasa del aporte de nutrientes.

El aporte de nutrientes inorgánicos procede de distintas fuentes. Los que proceden de los océanos, en donde las gotitas de sal originadas al romper las olas se mezclan con la atmósfera, caen al suelo arrastradas por la lluvia. El polvo atmosférico reparte también por el suelo los nutrientes, e igualmente hacen la irrigación y las inundaciones. El arroz que se cultiva en los arrozales de Asia, por ejemplo, depende esencialmente de los nutrientes liberados, de forma natural, de suelos de las regiones más elevadas y transportados por la corriente.

Sin embargo, el principal abastecedor de nutrientes son las sustancias minerales cedidas por el propio suelo. La aportación depende del tipo de suelo, tipo que constituye una razón fundamental de las grandes diferencias en fertilidad que se observan entre la zona templada y la zona tropical. Las diferencias dependen de las condiciones de temperatura e hidratación bajo las cuales los materiales de la roca madre son meteorizados con formación de minerales secundarios. Además, los suelos jóvenes de origen glacial de las regiones templadas disponen de un aporte de nutrientes mucho más amplio que los suelos viejos, fuertemente lixiviados, de los trópicos. Los suelos más fértiles de los trópicos son suelos relativamente jóvenes, que proceden de depósitos de aluvión o de cenizas volcánicas. En pocas palabras la extensión de suelos jóvenes y altamente fértiles que existe en el mundo es muy pequeña.

En la actualidad, el principal nutriente que actúa como limitante en la agricultura es el nitrógeno. Debido a su elevada capacidad para la fotosíntesis, las plantas de cultivo podrían utilizar en muchos casos mucho más nitrógeno que el que ponen a su disposición los aportes naturales. Por ejemplo, el maíz y la remolacha azucarera, cultivados en un ambiente óptimo, asimilarán más de 500 kg de nitrógeno por hectárea, para incorporarlo a su biomasa. El récord en producción anual de biomasa entre todas las plantas, una gramínea tropical que produjo más de 80 toneladas de materia seca por Ha, equivale a la asimilación de más de 1.600 kg de nitrógeno. Si se quiere que una planta alcance una producción máxima, es necesario suministrarle cantidades de nitrógeno de este orden por cada período de crecimiento.

Generalmente, sólo mediante abonos se puede suministrar nitrógeno en tan grandes cantidades. Otro método más antiguo, aunque menos satisfactorio desde el punto de vista del aporte o de nitrógeno, consiste en plantar leguminosas, que pueden fijar más cantidad de nitrógeno que el que necesitan, liberando el excedente en el suelo para provecho



REPARTO DE LA ENERGIA que interviene en el desarrollo del maíz y del pasto. De la energía solar que llega a la tierra a razón de 500 calorías por cm² y por día, aproximadamente un 93 por ciento vuelve a la atmósfera. Con un aporte de nutrientes y de agua en cantidades suficientes, y con una cubierta de hojas completa, puede captarse por fotosíntesis aproximadamente un 7 por ciento de la energía solar; de éste, un 2 por ciento se disipa durante la respiración, necesaria para el crecimiento y el mantenimiento de las plantas cultivadas, y un 5 por ciento va a parar a la materia seca que constituye estas plantas. En el maíz, un 3 por ciento pasa a formar parte de raíces, tallos y hojas, parte integrante del cultivo residual, que será reciclado en el suelo o servirá como forraje de animales, y un 2 por ciento aparece en forma de grano directamente consumible por el hombre. En el caso del pasto, el ganado puede consumir hasta un 4 por ciento de la energía. Esta energía, la que interviene en el desarrollo de estas plantas, asumida en forma de alimento por las personas y los animales, acabará siendo degradada por las vacas y las plantas de maíz tal como indica el diagrama.

de las plantas que se siembren luego. Sin embargo, las leguminosas son plantas de producción más bien baja y la cantidad de nitrógeno que liberan en el suelo es bastante pequeña. Además, se inhibe la fijación de nitrógeno a través del sistema de las leguminosas cuando la cantidad de nitrógeno que hay en el suelo es elevada, como ocurre en los campos preparados para obtener rendimientos máximos de plantas de cultivo de alta eficacia, cual es el caso del maíz. En estas condiciones, las leguminosas se convierten en consumidoras de nitrógeno, en balance neto. Con la aparición en la década de 1950 de abonos amoniacales derivados del petróleo, ha ido declinando la utilización de las leguminosas en ciclos de cultivo rotativo.

La agricultura mundial está actualmente en una fase de perplejidad ante la posible obligatoriedad de un sistema de cultivo rotativo en el futuro. Mientras se encuentren nuevos yacimientos de petróleo y de gas, podemos depender principalmente de los abonos, incluso las naciones más pobres. El peligro que entraña la roturación de nuevas tierras para producir alimentos y la obtención de cosechas cada vez más altas estriba en que las poblaciones humanas se desarrollen por encima del nivel que podría sostenerse con las fuentes de nitrógeno.

Una mirada a la producción de arroz, entendida como sistema agrícola, de Indonesia, nos ayudará a definir este problema. En 1972, dos cosechas de arroz por año en 10 millones de Ha de arrozal suministraron 21 millones de toneladas métricas de grano, aproximadamente 160 kilogramos per cápita. La cosecha representó aproximadamente un 70 por ciento de las necesidades de energía y un 100 por ciento de las exigencias proteicas para una población de 130 millones de habitantes.

Sin embargo, esta producción apenas superaba los 1000 kg por Ha por cosecha; constituía sólo el 10 por ciento de las producciones máximas de arroz obtenidas en medios similares y un 20 por ciento de la producción media de Japón y California. Esta diferencia se debía no tanto a una deficiencia del esfuerzo humano (puesto que los niveles que se mantienen en Indonesia en aspectos como regulación del agua y de las malas hierbas son elevados) cuanto a diferencias en la nutrición mineral de las plantas.

Admitiendo que el sistema esté en fase de equilibrio, un simple cálculo de la economía del nitrógeno indica que cada año se sacan de la tierra en forma de grano y de paja unos 40 kilogramos de nitrógeno por hectárea. Aun cuando todo el nitrógeno químico consumido en Indonesia se aplicara a los arrozales, esto representaría únicamente un aporte de 11 kilogramos por hectárea. La rotación con leguminosas se practica poco en Indonesia, y las precipitaciones aportan solamente unos 10 kilogramos de nitrógeno por hectárea y por año; por lo que unos 19 kilogramos han de ser aportados mediante irrigación, estercolado y fijación que realicen todos los microorganismos libres. Puesto que es también necesario compensar las pérdidas debidas a infiltración en el suelo y a desnitrificación, la cantidad de nitrógeno que en realidad procede de estas fuentes tiene que rebasar los 19 kilogramos, más próxima, por tanto, a la cantidad máxima de que disponen.

El interés de este ejemplo es doble: pone de manifiesto la vulnerabilidad del sistema frente a una deficiencia en el suministro de nitrógeno cuando su intensidad fluctúa de un año a otro, y muestra el enorme potencial de aumento de la producción. Con más nitrógeno y un suministro adicional de otros nutrientes, parece posible obtener una quintuplicación de la producción agrícola.

La comparación entre la producción arrocera de Japón y la de Indonesia constituye un ejemplo de la amplia variabilidad posible en la productividad de la agricultura en diferentes regiones y en diferentes años. Esta variación se debe fundamentalmente a dos causas. Una de ellas corresponde a las diferencias en clima y en otros factores naturales; la otra está relacionada con las diferencias en la gestión agrícola y en la intensidad de la producción.

Los efectos de los factores naturales pueden quedar fuertemente modificados por el tipo de tecnología empleada en la explotación agrícola. Si el problema se debe a falta de agua, por ejemplo, pueden obtenerse notables aumentos de producción por hectárea plantada, dejando el campo en barbecho un año de cada dos.

El tipo y la cantidad de los medios técnicos empleados están en función de los mercados actuales y del sistema social imperante. Con sistemas distintos se pueden potenciar al máximo los diferentes recursos. Indonesia tiende decididamente a explotar al máximo los recursos escasos del suelo: aprovechamiento total de los nutrientes naturales. Japón exprime al máximo la cantidad de radiación solar fijada mediante la aportación de nutrientes, con objeto de conseguir una elevada producción por unidad de superficie. Son parecidas las estrategias que se emplean en Israel y en Holanda. Estos países, que disponen de pocas tierras cultivables, nos brindan una definición práctica de la agricultura intensiva, a saber, hasta qué punto es posible acercar el nivel de producción al nivel potencial permitido por la biología y el clima.

La agricultura de los Estados Unidos es de intensidad media. Podría suponerse que la fuerte dependencia de la maquinaria existente en los Estados Unidos indica una agricultura altamente intensiva, pero la maquinaria por sí sola no es ningún indicador de intensidad. Aunque la mecanización facilita cierta intensificación (por ejemplo, mediante una mejor distribución de las semillas y una recolección más exhaustiva), la producción puede disminuir cuando hay que espaciar los surcos para el paso de las máquinas o cuando el empleo de éstas aumenta la compacidad del suelo. Lo que la agricultura mecanizada de los Estados Unidos refleja es la optimación del trabajo, en un medio social en el que la tierra, la energía y el capital son relativamente baratos.

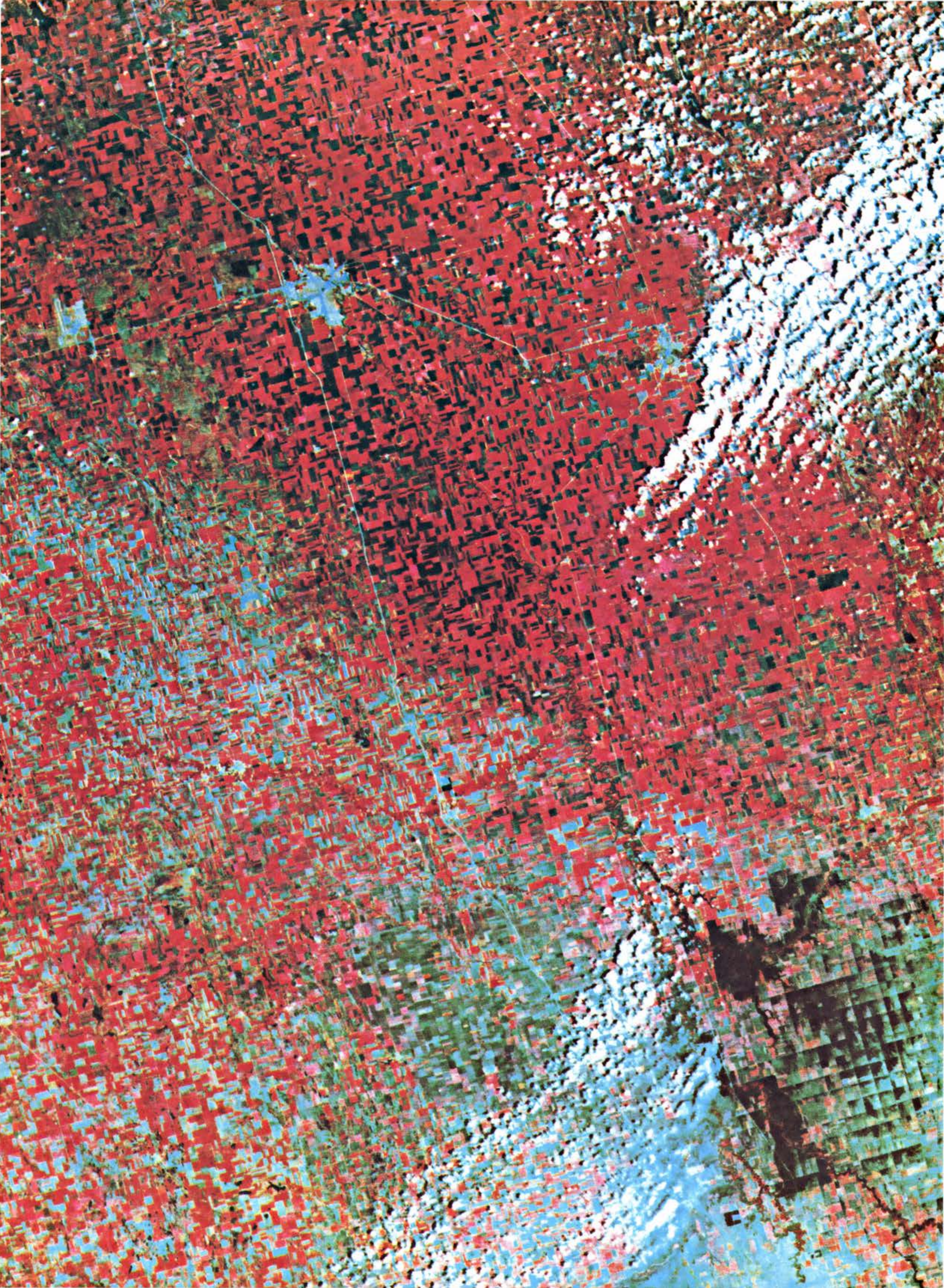
En el extremo inferior de la escala de la intensificación se halla la agricultura de gran parte de Asia y de Africa. En semejantes regiones, la producción de grano se encuentra típicamente entre los 700 y los 1400 kilogramos por hectárea. La mayoría de estos sistemas agrícolas son muy antiguos y algunos de ellos se hallan finamente armonizados con el ambiente. Los aportes externos, como abonos y maquinaria, son bajos. Estos sistemas corresponden a un tipo de equilibrio ecológico dinámico que podría mantenerse indefinidamente. Mientras el nivel de la población humana se absorba dentro de la capacidad del sistema, es muy posible que estos sistemas sean tan seguros como cualquier otro que podamos imaginar. Los sistemas intensivos son también bastante seguros, siempre y cuando sean objeto de suficiente protección, investigación y prioridad en lo que respecta a los factores tierra y energía. Su estabilidad queda determinada por elementos externos al sistema agrícola.

Todos estos sistemas se muestran muy sensibles ante los cambios de mercado. La producción que no puede canalizarse directamente, o de forma indirecta a través de la ganadería, hacia el mer-

cado tiene poco valor para la sociedad. Como resultado, la producción está fuertemente obligada a satisfacer la demanda. Las decisiones a nivel de dirección sobre la calidad y la cantidad de tierra destinada a cada cultivo, sobre las variedades de tal planta, sobre los empleos dados a tal cosecha y sobre la intensidad del esfuerzo agrícola hacen que el nivel de la producción efectiva varíe dentro de límites muy amplios.

En muchos casos, las influencias contrarias al aumento de la población son fortísimas en sociedades que parecen tener las máximas necesidades de ella. Para satisfacer las necesidades urbanas, muchas naciones en vías de desarrollo han creído necesario establecer políticas que favorecen un bajo coste de los alimentos y, en consecuencia, una mínima compensación del trabajo de los agricultores. Semejante estado de cosas se ha podido mantener debido a que los mercados de alimentos del mundo se han visto desvaídos durante los 100 últimos años a causa de la abundante producción de la agricultura norteamericana.

A tenor de los efectos de los factores sociales, poco puede deducirse sobre el comportamiento potencial de un sistema agrícola a través del simple examen de su funcionamiento y de los resultados actuales, a no ser que el estudio en cuestión se centre en los siguientes temas: biología, suelo y clima. Ateniéndonos exclusivamente a estos factores naturales, puede decirse que con la disponibilidad actual de tierra de labor, con una dieta básicamente vegetariana que se fundara en las cosechas que podrían obtenerse con los conocimientos actuales y con un considerable gasto de energía y de esfuerzo humano, el mundo podría sostener una población humana de 50 mil millones de habitantes, y más. Sin embargo, el sistema de alimentación de una tal población dependería estrechamente del funcionamiento armónico de esa gran sociedad. La ola de hambre que asoló Irlanda en la década de 1840, por ejemplo, se debió más a un fallo de las instituciones humanas que a otro fracaso de la biología. La biología y el clima podrán variar, y los reajustes exigen tiempo. Incluso un sistema de agricultura moderadamente intensivo, como el vigente en Estados Unidos, requiere una atención constante a los recursos genéticos y al suministro de energía. Ya no cabe una actitud de despreocupada negligencia frente a la agricultura, cual si fuera una tarea secundaria del hombre.



La agricultura de los Estados Unidos

Su alta productividad es fruto de dos siglos de política de desarrollo: bajo precio de la tierra y los materiales necesarios para la agricultura, precios estables de los productos agrícolas y promoción de innovaciones

Earl O. Heady

La agricultura estadounidense suele desempeñar un papel único y vital tanto en la economía nacional como en la mundial. El sector agrícola de esta nación ha disfrutado de altos beneficios durante los últimos tres años, cuando la mayoría de los restantes sectores de la economía experimentaban una recesión y una disminución en sus ingresos. El empleo permaneció estable en el sector agrícola, incluso cuando la tasa de desempleo aumentaba de manera considerable en los otros sectores de la economía. A esto se ha sumado la reciente disminución de la secular tendencia de los trabajadores del campo a abandonar las faenas agrícolas, como resultado del cambio tecnológico producido en la agricultura. Durante los últimos años, los bienes de capital, sobre todo las tierras, acusaron una gran revalorización alcanzando niveles altísimos. En cambio, el valor de los títulos corporativos y de las acciones ordinarias disminuyeron notablemente a lo largo de una fracción importante de ese período. Es más: en plena recesión mundial, de 1973 a 1975, el valor del dólar de las exportaciones agrícolas alcanzó un nivel medio anual de 18.500 millones de dólares, lo que supone un aumento anual del 167 por ciento sobre el período comprendido entre 1968 y 1972. Una creciente porción del comercio exterior nacional se debía a las exportaciones agrícolas que habían desempeñado un importante papel al crear una balanza comercial positiva para los Estados Unidos.

Dentro de la economía mundial, la agricultura norteamericana iba a la cabeza en las exportaciones de productos alimenticios. De 1973 a 1975, sus exportaciones de cereales comprendían el 65 por ciento de la exportación mundial de granos. Es obvia la importancia de la agricultura norteamericana para resolver los problemas alimentarios del mundo. Generalmente, en Estados Unidos, se exporta casi una de cada cinco hectáreas cultivadas, y la producción de un 14 por ciento de su fuerza laboral agrícola se traslada a los mercados mundiales. Sin embargo, en los Estados Unidos, la agricultura emplea sólo un 5 por ciento de la fuerza laboral, y sólo un 4,4 por ciento de la población nacional. Ningún otro país que tenga una gran población, y sea un importante productor de alimentos, se aproxima a los Estados Unidos en su nivel de reducción de la fuerza laboral agrícola. Gracias a esta gran productividad de la agricultura norteamericana, la nación puede adquirir alimentos a cambio de un trabajo mínimo.

¿Cómo alcanzó la agricultura norteamericana esta supremacía mundial en su productividad? El sector agrícola de los Estados Unidos, ¿ha alcanzado los límites de su capacidad productiva, o puede incrementarse aún más esta capacidad? Las claves de esta productividad, ¿pueden ajustarse a otros países? ¿Cuáles son los futuros problemas económicos y sociales, si los hubiera, que esperan al sector agrícola norteamericano? ¿Cómo afectarían estos problemas a las comunidades rurales y a otros sectores de la sociedad?

Durante los últimos veinte años, algunos especialistas y economistas agrícolas norteamericanos se han dedicado a explorar los países en vías de desarrollo a fin de encontrar la clave de un próspero progreso de la agricultura. No necesitaban haber viajado tan lejos; donde mejor se encuentran los secretos de un próspero desarrollo agrícola es en la historia de los Estados Unidos.

Hace 200 años que los Estados Unidos tienen el mejor, el más lógico y el más próspero programa de desarrollo agrícola del mundo. Otros países harían bien en copiarlo. Aunque el programa se confeccionó de manera fraccionaria durante varias décadas, los instrumentos de política se concibieron de manera consciente para estimular al sector agrícola a ampliar sus recursos y aumentar su rendimiento. Como resultado de esta política consciente, el consumidor norteamericano –y, en menor medida, el del resto del mundo–, consiguió un precio favorable en los productos alimenticios. Hacia 1971, el consumidor medio norteamericano sólo gastaba en alimentos el 15,7 por ciento de sus ingresos

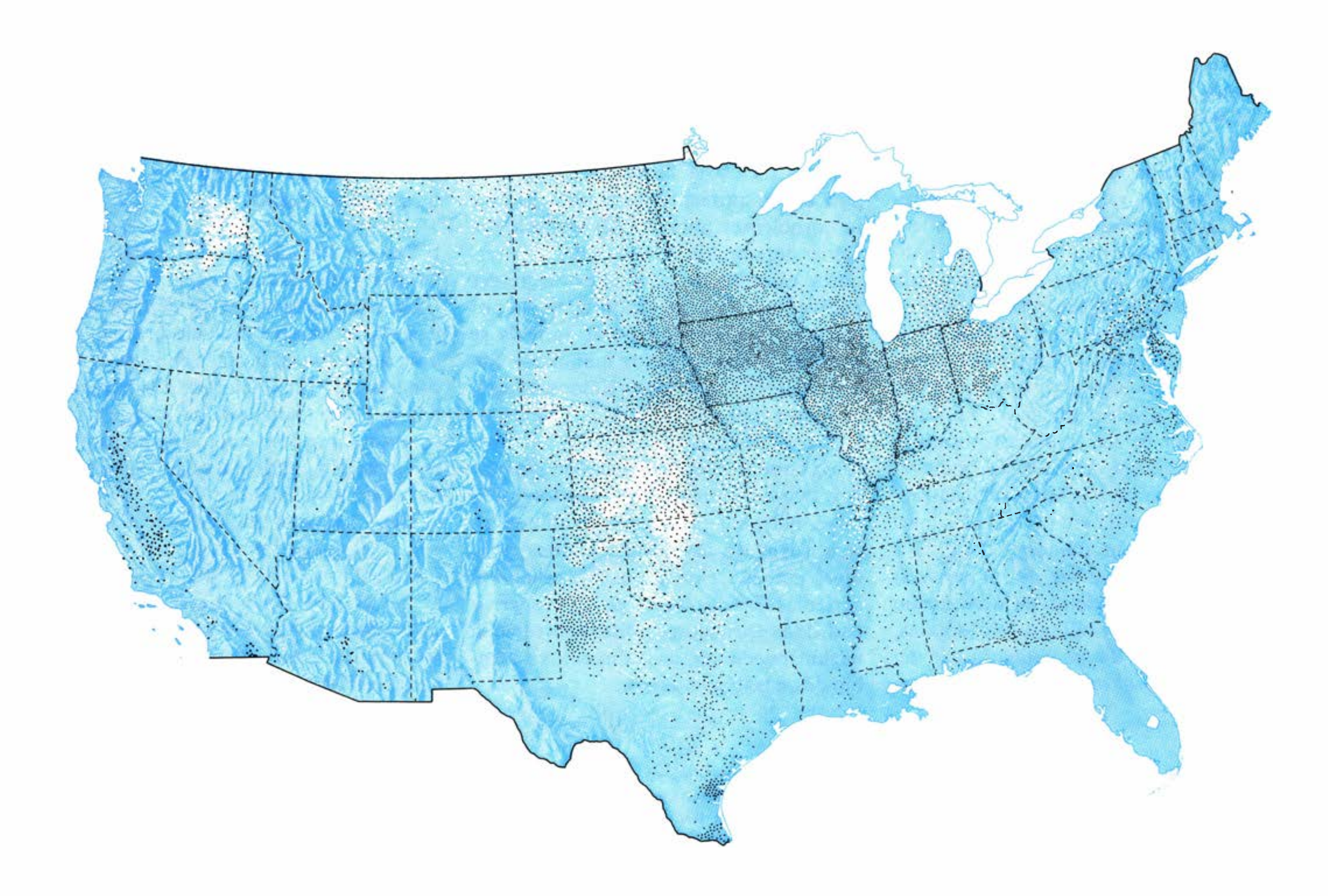
CAMPOS RECTANGULARES DE GRAN EXTENSION, cuyos ejes se alinean predominantemente en dirección norte-sur y este-oeste; tal es el esquema característico de la agricultura en la región de los Great Plains, *(página opuesta)*. La imagen, obtenida por el LANDSAT 2, tratada digitalmente y registrada el 5 de julio de 1975, abarca una parte del Red River Valley, cerca de la frontera entre Dakota del Norte y Minnesota. La zona azulada de la parte superior izquierda, cerca de la intersección de dos carreteras principales, es la ciudad de Grand Forks, D.N. En la representación de color convencional utilizado para confeccionar este grabado, las zonas rojas corresponden a zonas de cultivo, las azules a tierras en barbecho, las negras a aguas procedentes de inundaciones recientes y los retazos blancos irregulares son nubes. La zona gravemente afectada por inundaciones de la parte inferior derecha está entrecruzada por carreteras que trazan líneas divisorias. Los cultivos representados al ser tomada esta imagen eran trigo, patatas y remolacha.

disponibles (En 1975, y debido a la inflación, esta cifra alcanzó el 16,8 por ciento.) A modo de comparación, en 1971 el consumidor medio de los países en vías de desarrollo gastó en alimentos el 65 por ciento de sus ingresos disponibles, el de la Unión Soviética gastó el 30 por ciento y el de la Comunidad Económica Europea el 26 por ciento.

¿Cuáles son los elementos específicos de una política de desarrollo agrícola próspera y consciente? Primero, esta política debe potenciar y dotar al agricultor de los principales recursos y ha de mantener bajos los precios de éstos. Segundo, debe mantener relativamente altos y estables los precios de los productos del campo. Tercero, debe crear un sistema de posesión que estructure los costos de funcionamiento de las explotaciones agrícolas para favorecer las innovaciones. Cuarto, debe estimular la investigación y la tecnología, y debe mantener informado al agricultor de manera continua y adecuada sobre la disponibilidad de nuevas técnicas y maquinaria. Los Estados Unidos han utilizado todos estos elementos en su política de desarrollo agrícola, a veces uno por uno y, otras, combinándolos. Los métodos específicos con los que el gobierno ha estructurado su política agrícola han cambiado a través de las décadas, pero el principio general de estimular el desarrollo agrícola ha permanecido igual.

Al comienzo del desarrollo agrícola de la nación, abundaban las tierras y el peonaje era barato. Las inversiones de capital, tales como maquinaria agrícola, abonos y alimentos para la familia del agricultor, eran relativamente modestas, y procedían en su mayoría de la propia explotación. Los agricultores crearon su propia energía transformada en trabajo físico de los miembros de la familia y de los animales que se criaban en la explotación doméstica. Recabaron asimismo energía solar transformada por los cultivos atendidos en tales propiedades y consumidos por la familia o por los animales. Los agricultores abonaban el suelo con la rotación de cultivos y con estiércol animal; la rotación de cultivos controlaba en alguna medida las invasiones de los insectos.

Debido a la disponibilidad de las tierras, las explotaciones agrícolas se extendieron rápidamente por toda la nación. El mercado podía absorber prontamente el aumento de la producción. La demanda de productos alimenticios era muy fluida debido al crecimiento constante de la población, a los ingresos *per cápita* y a las exportaciones de productos alimenticios. Los medios de comercialización de los productos se desarrollaron también gracias a una política agraria que disponía la concesión de tierras a los constructores de vías férreas. Con el aumento de los mercados y la creciente demanda de productos alimenticios, la política agrícola era, predominantemente, una política de desarrollo, que se volcaba en ayuda de los principales recursos agrícolas y en los bajos precios de los mismos. En general, la política nacional de desarrollo de la agricul-



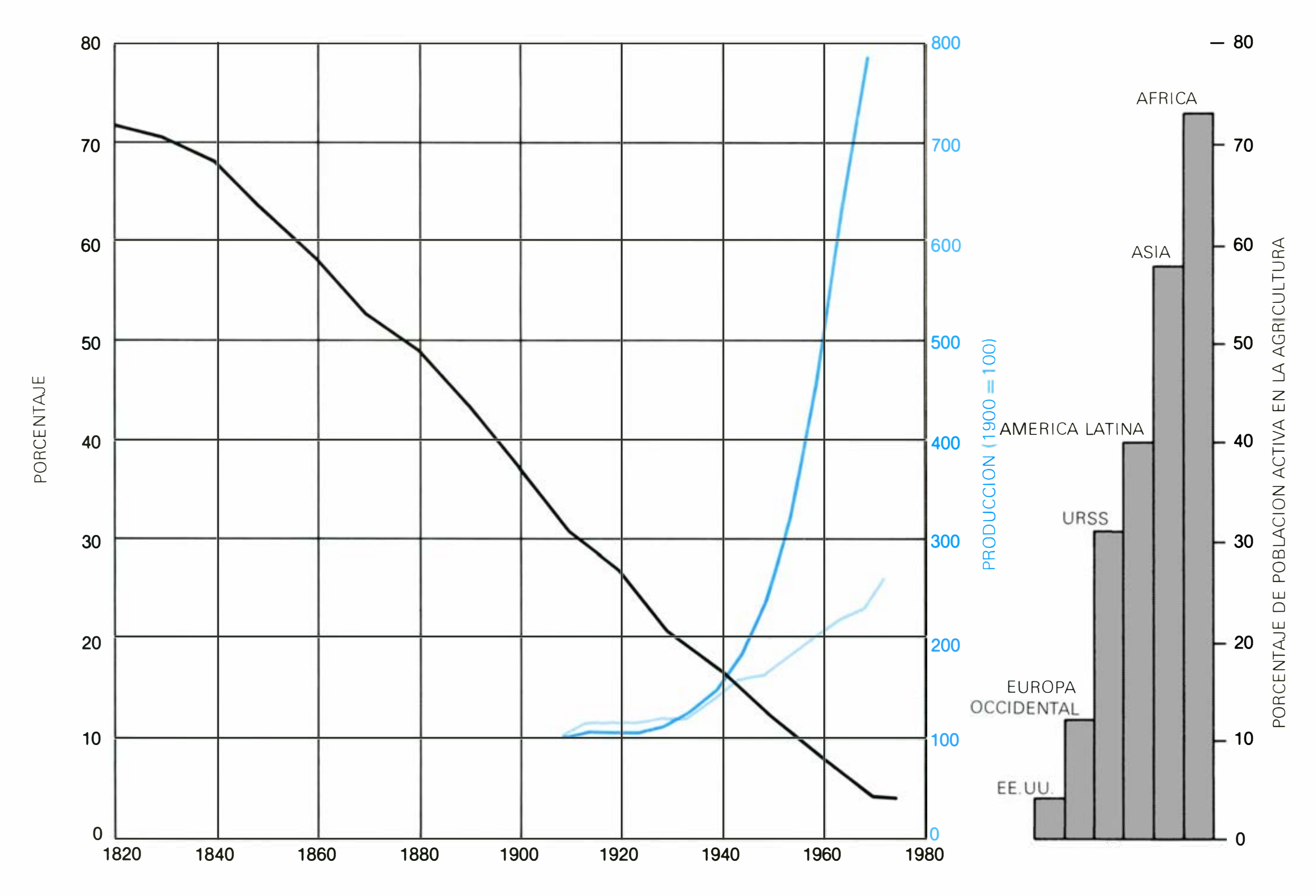
EN ESTE MAPA DE LOS ESTADOS UNIDOS se nos da una muestra de los principales cereales cultivados. Los puntos en blanco representan las zonas trigueras para consumo humano; los puntos negros, destinadas a granos para el ganado (maíz, sorgo, cebada y avena). El autor sugiere que si los norteamericanos redujeran alrededor de un 25 por ciento su consumo de carne, y se guardara en silos el 25 por ciento del cereal para el ganado, las exportaciones americanas de cereales destinadas a los países pobres podrían duplicarse, por lo menos.

tura benefició a los agricultores gracias al escaso valor de la propiedad (y por consiguiente bajo coste de la tierra) y a los altos ingresos, y benefició simultáneamente a los consumidores quienes, adquirieron los productos alimenticios a un precio asequible.

En el siglo XIX, la política agrícola norteamericana era, con toda seguridad, la política de desarrollo más próspera que el mundo había conocido. Tras la expansión norteamericana hacia el Pacífico y la consunción del dominio público de concesiones de tierras, el gobierno no finalizó su política de desarrollo agrícola. Se limitó a cambiar de táctica. En lugar de concentrarse en la expansión, empezó a insistir en la productividad. Recurrió al conocimiento científico y a la nueva tecnología como recursos capitales para lograr un costo bajo o gratuito. La Ley Morrill, de 1862, creó el sistema colegiado de concesión de tierras para estimular la investigación y ofrecer a los agricultores nuevos conocimientos técnicos. Los nuevos recursos fueron un sustituto eficaz para las tierras: entre 1910 y 1970, la producción de la agricultura norteamericana casi se duplicó; además, hacia 1970, cuando los programas de control de producción estaban aún vigentes, la nación se autoabasteció en un número mucho menor de hectáreas que en 1910. Los resultados de las inversiones públicas en mejora técnica de la agricultura se hicieron patentes sobre todo a partir de 1940, a medida que la investigación ganó en perfección y profundidad. Además, las tecnologías incorporadas en las nuevas prácticas agrícolas eran de reducido costo, comparadas con la cantidad resultante de productos agrícolas. De ahí que las nuevas tecnologías resultantes fueran rápidamente adoptadas y que, hacia la década de 1960, se convirtieran en un substituto eficaz de las tierras y de la mano de obra. El resultado fue que, entre 1950 y 1955 emigraron del sector agrícola más de un millón de trabajadores para integrarse en otros sectores de la economía.

Otras políticas de desarrollo gubernamentales contribuyeron también a incrementar el suministro de recursos destinados a la agricultura, reduciendo así su costo para el campesino. La Ley Federal de préstamos agrícolas de 1916, y la legislación subsiguiente, concedieron medios públicos de ayuda por los que los agricultores pudieron obtener bienes de capital tales como maquinaria agrícola, a tipos de interés más bajos que los vigentes en el mercado libre. De igual manera, la Ley de Recuperación Nacional de 1902 propiciaba los medios por los que las tierras semiáridas del Oeste se cedían a precio de subvención, para estimular su explotación mediante regadío.

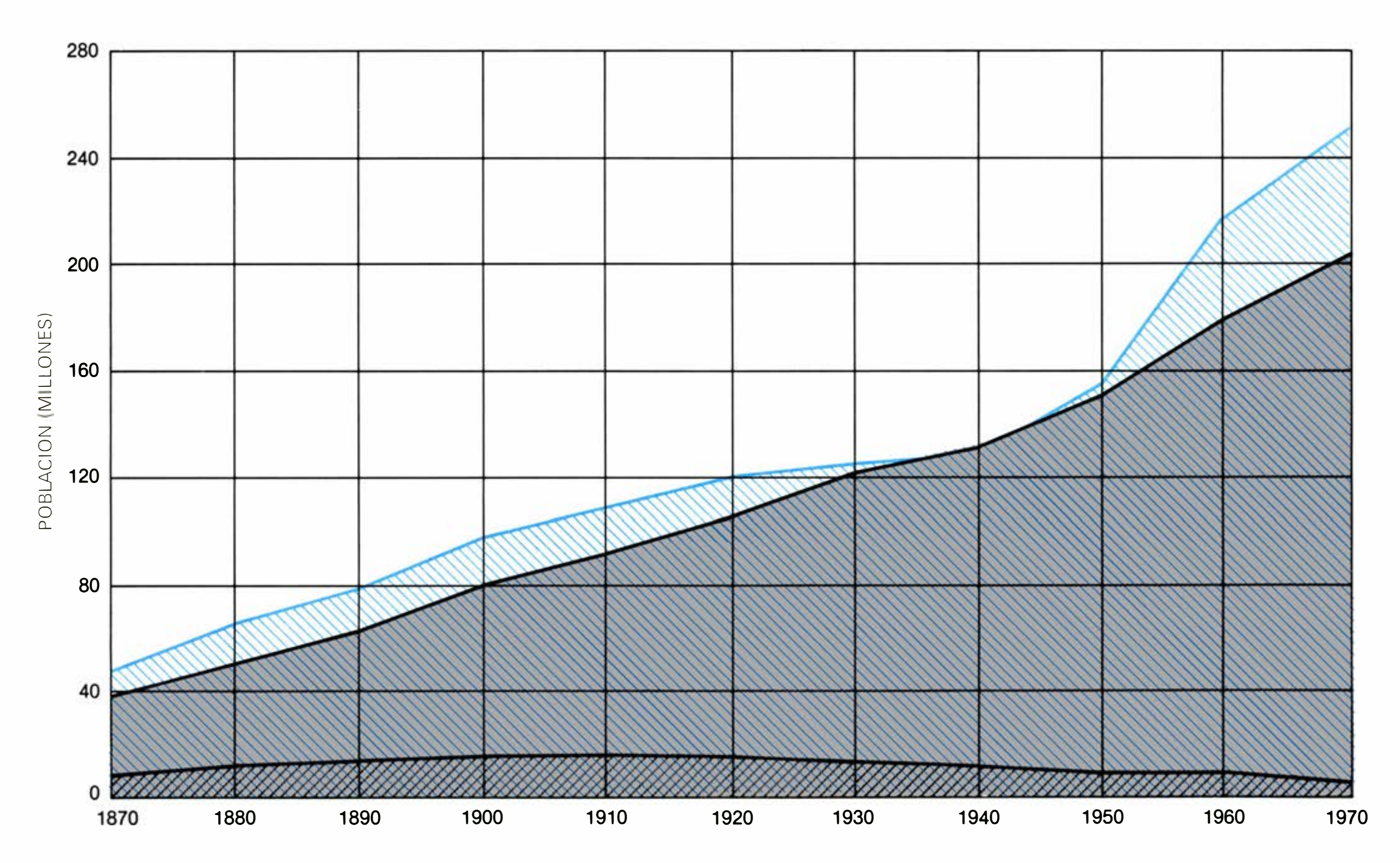
La política nacional de desarrollo agrícola se ha venido estructurando activamente hace más de 200 años y



EL PORCENTAJE DE OBREROS en el agro norteamericano *(negro)* **ha disminuido desde hace 150 años** *(izquierda)*. **Sin embargo, entre 1910 y 1970, la producción absoluta de las explotaciones se ha duplicado aproximadamente. Además, el rendimiento de las explotaciones por obrero ha aumentado mucho** *(color oscuro)*. **A la derecha, el gráfico muestra el porcentaje del campesinado en otras partes del mundo. Los porcentajes refieren áreas muy extensas y no detallan informaciones concretas, como la siguiente: que 7 por ciento de la población activa de Israel esté empleada en la agricultura, mientras que Chad ocupa en este sector el 91 por ciento de la población activa.**

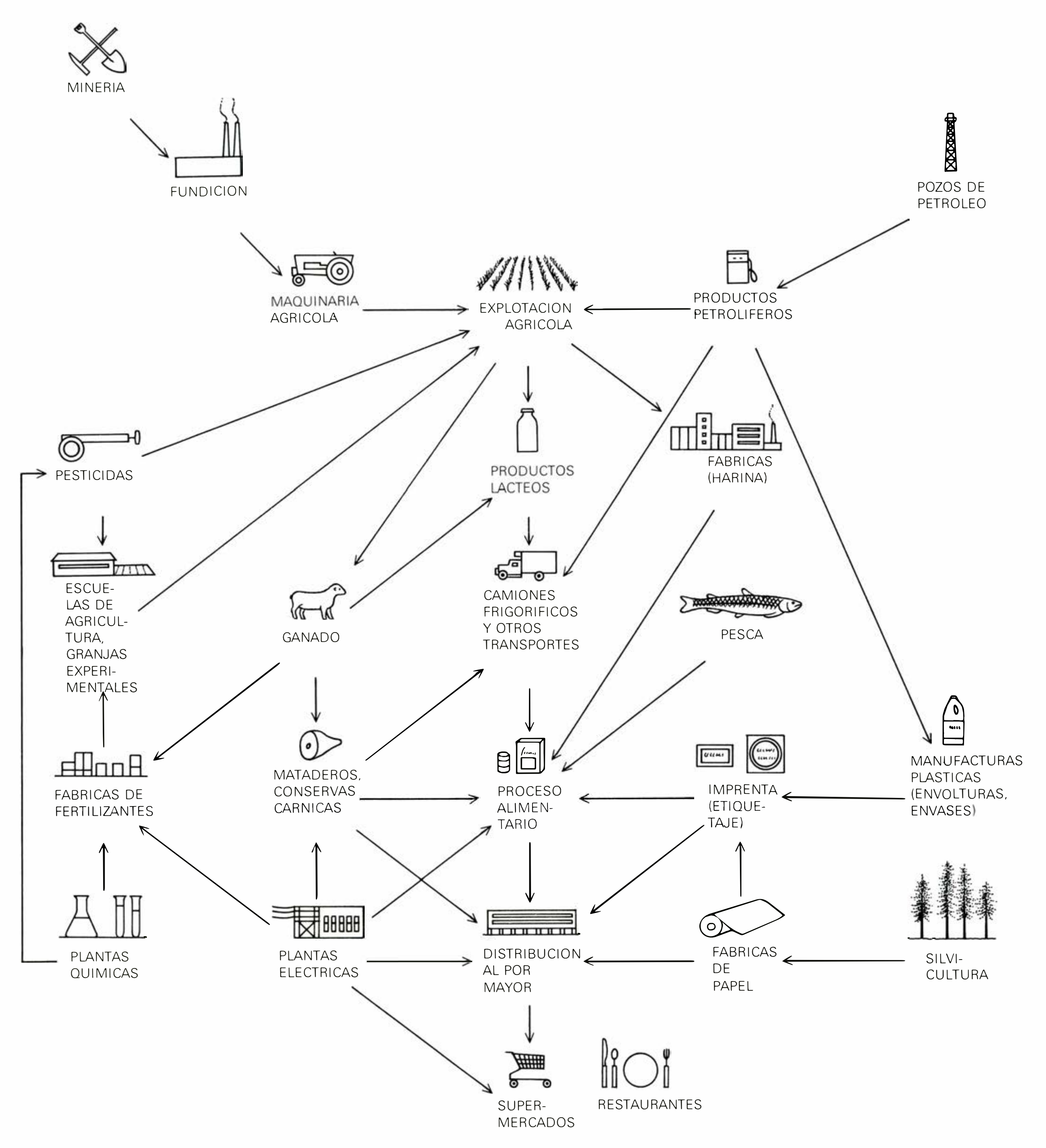
todavía sigue en vigor. Se refleja en la investigación, la educación, los créditos agrícolas y otros programas apoyados por el Estado, que desarrollan nuevas tecnologías y estimulan a los agricultores a hacer caso de las mismas. La política norteamericana de desarrollo agrícola es un hito ejemplar al que deberían prestar atención los gobiernos de los países en vías de desarrollo, mientras luchan por elevar su producción alimentaria más allá del nivel preciso. Una nación puede confiar en que una política de desarrollo beneficie simultáneamente a agricultores y consumidores sólo cuando hay una demanda de productos alimenticios fluida y creciente al mismo tiempo. Aunque esto respondía al caso norteamericano hasta principios del siglo XX, hacia la década de 1920 los ingresos *per cápita* habían aumentado suficientemente para que las demandas domésticas de productos alimenticios pasaran a ser muy rígidas. Es decir, los ingresos habían alcanzado un nivel en que los consumidores podían comprar los alimentos que necesitasen, y un aumento de los ingresos apenas habría de influir en el consumo de alimentos. El resultado de tal rigidez es que un aumento en la producción de artículos alimenticios de un 1 por ciento conduce a una disminución de los precios de alimentos superior a un 1 por ciento. Si otros factores, como las exportaciones, permanecen a niveles constantes, un incremento de la producción agrícola que supere la tasa de crecimiento de la población origina el descenso del precio de los productos alimenticios en el mercado a una tasa mayor que la de crecimiento de la demanda. De este modo, la renta total y real del mercado de los productos agrícolas disminuye. Esta disminución empezó en la década de 1920 y se intensificó con la gran depresión de los años 30. Se atenuó durante la Segunda Guerra Mundial y el período de reconstrucción de postguerra, cuando los Estados Unidos exportaron alimentos a países cuya producción agrícola había quedado quebrantada por la guerra. Sin embargo, hacia 1950, la producción agrícola mundial se había recuperado. La situación comercial de los productos agrícolas norteamericanos volvía a ser la de una rígida y alta demanda interior y exterior. Volvieron las condiciones de la década de 1920. Pero el desarrollo agrícola y la mayor producción en la agricultura no podían garantizar por sí solos, y por más tiempo, ganancias a agricultores y a consumidores, ya que los beneficios y los costos de un continuo desarrollo no se distribuían equitativamente. Mientras la producción agrícola seguía aumentando, los consumidores se beneficiaron por los precios más bajos en los productos alimenticios, pero los agricultores sufrieron, con esta vicisitud, una disminución en sus ingresos.

Para neutralizar los efectos de una política agrícola de rígida demanda en los Estados Unidos había que cubrir otra etapa. Se empezó programando una serie de ayudas compensatorias a fin de mantener los ingresos agrícolas a niveles aceptables. Se pagaba a los agricultores



EL RENDIMIENTO DE LA AGRICULTURA norteamericana se ha mantenido alto desde hace más de 100 años, como resultado de su política agraria. El área gris representa la población total con intervalos de 10 años, de 1870 a 1970. El área negra y rayada muestra el número de agricultores durante el mismo periodo; el área coloreada y rayada, el número de personas a las que podrían alimentar aquéllos. Aunque el número absoluto de personas que vivían de sus tierras en 1970 era alrededor de la mitad del de 1870, el rendimiento por campesino era diez veces mayor en 1970. La agricultura norteamericana puede alimentar a 30 millones de personas más que las que viven en el campo. Exporta 20 por ciento de los productos agrícolas y no ha alcanzado los límites de productividad.

para que redujeran la superficie cultivada, así como su producción. Reducida ésta, podía mantenerse en el mercado a precios más altos. También se prestó a los agricultores dinero y silos de almacenamiento, de manera que se controlaba la tasa en que sus productos salían al mercado. Se programaron también planes internacionales de protección a los productos alimenticios, subvencionando las exportaciones –a veces dando el producto gratuitamente–, para incrementar la demanda de alimentos y para estimular a los países en vías de desarrollo a aceptarlas. Estos programas, financia-



LA GESTION EMPRESARIAL DEL CAMPO, o la industrialización de los productos alimenticios de los Estados Unidos, se halla estrechamente relacionada con muchos sectores de la economía y abarca una fracción de ésta mucho más amplia que la puramente agrícola. El gráfico de flujos da una impresión visual de la interracción entre la agricultura y otras actividades. Como proveedores agrícolas aparecen las industrias que suministran la maquinaria y los abonos; como cliente está la industria transformadora de alimentos. El gráfico de ingresos y productos, inserto en la página siguiente muestra con más detalle la interacción entre la agricultura y la industria expresados en dinero.

	PRODUCTOS ALIMENTICIOS Y ANALOGOS	PRODUCTOS DE LA GANADERIA GANADO Y	OTROS PRODUCTOS AGRICOLAS	SERVICIOS AGRICOLAS, SILVICULTORES Y PESQUEROS	DESEMBOLSOS CONSUMICION PRIVADA (DEMANDA TOTAL FINAL)	CAMBIO INVENTARIO NETO	EXPORTACIONES NETAS	COMPRAS GOBIERNO FEDERAL	COMPRAS GOBIERNO ESTATAL Y LOCAL	FORMACION TOTAL CAPITAL PRIVADO BRUTO	DEMANDA TOTAL FINAL	TOTAL PRODUCCION
PRODUCTOS AGRICOLAS												
PRODUCTOS ALIMENTICIOS Y ANALOGOS	17,212	4,053	—	39	71,970	732	2,423	467	734	—	76,325	105,045
GANADO Y PRODUCTOS DE LA GANADERIA	23,466	7,390	1,581	185	2,321	698	68	6	23	—	3,116	37,504
OTROS PRODUCTOS AGRICOLAS	7,564	9,468	935	559	4,161	118	3,562	-1,106	129	—	6,864	30,195
SERVICIOS AGRICOLAS, SILVICULTORES Y PESQUEROS	—	610	1,341	—	240	—	19	10	45	—	314	2,899
CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO												
NUEVAS CONSTRUCCIONES	535	514	809	33	—	—	22	3,290	24,806	68,601	96,719	96,719
MANTENIMIENTO Y REPARACIONES CONSTRUCCION	352	233	358	—	—	—	—	1,499	5,280	—	6,780	30,999
MAQUINARIA												
MAQUINARIA AGRICOLA	1	70	2,685	102	43	221	393	26	44	2,928	3,656	4,756
UTILLAJE Y MATERIAL DE EQUIPO	144	—	—	—	—	28	204	78	1	1,440	1,751	3,073
MAQUINARIA ESPECIAL INDUSTRIA Y EQUIPO	560	—	—	13	32	60	1,124	44	16	3,538	4,813	6,353
VEHICULOS DE MOTOR Y OTRO EQUIPO DE TRANSPORTE	199	416	515	10	17,621	-304	3,068	2,451	1,252	15,558	39,644	57,799
MAQUINAS DE OFICINA, COMPUTADORAS Y CALCULADORAS	92	2	1	3	111	152	1,578	648	219	4,195	6,902	9,297
MAQUINAS SERVICIO INDUSTRIAL	93	18	2	2	548	176	512	92	170	2,087	3,585	6,895
MAQUINAS ELECTRICAS VARIAS EQUIPOS Y SUMINISTROS	7	15	45	—	791	87	228	128	43	268	1,544	3,945
INSTRUMENTOS PROFESIONALES, CIENTIFICOS, DE CONTROL, OPTICOS, FOTOGRAFICOS, SUMINISTROS DE EQUIPOS	89	—	3	6	1,845	194	1,180	1,207	481	2,530	7,437	12,993
FERTILIZANTES Y PRODUCTOS QUIMICOS												
PRODUCTOS QUIMICOS Y FERTILIZANTES MINERIA	4	—	10	—	3	10	114	—	88	—	213	924
PRODUCTOS QUIMICOS SELECCIONADOS	458	92	2,274	17	601	282	2,294	1,606	234	—	5,017	26,245
ENERGIA												
REFINERIAS PETROLIFERAS E INDUSTRIAS AFINES	250	192	942	5	12,271	353	950	963	463	—	15,000	31,765
SERVICIOS ELECTRICOS, GAS, AGUA, SANIDAD	740	113	247	2	17,676	—	84	449	2,571	—	20,781	47,871
ENVASES												
PRODUCTOS TEXTILES VARIOS E INVERNACULOS	20	11	29	45	1,814	11	98	19	1	123	2,066	5,573
PRODUCTOS TEXTILES MANUFACTURADOS VARIOS	90	*	45	4	2,497	117	72	299	32	—	3,017	5,034
MATERIALES PLASTICOS Y SINTETICOS	90	—	—	—	21	84	834	58	1	—	998	10,158
PRODUCTOS DE CAUCHO Y PLASTICO VARIOS	793	45	188	*	3,172	329	416	303	275	29	4,523	17,213
VIDRIO Y DERIVADOS	1,329	6	—	—	443	100	189	18	82	—	832	4,768
ENVASES METALICOS	2,645	19	12	—	—	124	15	11	—	11	161	4,490
MADERAS Y DERIVADOS (EXCEPTO ENVASES)	12	4	4	—	401	163	612	29	5	8	1,217	15,330
CAJAS DE MADERA	96	—	80	8	—	2	3	22	—	—	26	456
PRODUCTOS DE PAPEL Y ANALOGOS (EXCEPTO ENVASES Y CAJAS)	950	17	1	*	,907	179	1,013	115	283	—	3,498	19,769
ENVASES Y CAJAS DE CARTON	1,916	2	3	117	87	40	27	32	29	—	215	7,051
SERVICIOS												
SUMINISTROS DE OFICINA	72	1	1	*	—	—	—	174	442	—	616	3,266
IMPRENTA Y PUBLICACIONES	579	9	14	*	5,113	113	289	213	1,134	—	6,862	26,002
TRANSPORTES Y ALMACEN	3,243	874	597	31	14,015	289	4,987	2,960	1,419	967	24,636	65,679
COMUNICACIONES, EXCEPTO RADIODIFUSION	374	96	85	—	10,400	—	320	665	752	1,655	13,791	25,645
COMERCIO AL POR MAYOR Y AL POR MENOR	4,347	1,731	2,666	76	140,630	, 516	2,984	1,108	727	7,808	153,773	207,109
FINANZAS Y SEGUROS	494	379	432	3	31,359	—	169	57	621	16	32,221	65,495
PROPIEDADES REALES Y ALQUILERES	908	581	2,402	80	89,935	—	811	337	1,052	2,567	94,701	143,163
HOTELES Y PENSIONES, SERVICIOS DE PERSONAL Y REPARACIONES (EXCEPTO REPARACION AUTOMOVILES)	164	6	—	—	17,741	—	8	568	185	—	18,501	23,636
SERVICIOS DEL NEGOCIO	3,752	95	1,385	*	6,291	—	485	2,491	2,391	—	11,658	68,991
REPARACIONES Y SERVICIOS AUTOMOVIL	227	155	159	1	10,248	—	—	49	240	—	10,536	18,443
VIAJES DE NEGOCIOS, GASTOS, DIVERSIONES Y REGALOS	414	32	44	13	—	—	—	—	—	—	—	13,324
VALOR AÑADIDO	27,650	10,772	14,311	1,700	—	—	—	—	—	—	—	973,114

dos por impuestos públicos durante la década de 1930, y de nuevo en los años 50 hasta 1972, resultaban compensatorios en dos sentidos. En primer lugar, los programas pagaban directamente a los agricultores por la reducción de sus ingresos en el mercado, ya que el suministro de alimentos aumentaba más rápidamente que la demanda. En segundo lugar, al controlar la producción agrícola, los programas contrarrestaban o compensaban la mayor productividad de las explotaciones agrícolas potenciadas por la investigación agrícola, la conservación del suelo, el regadío y otras medidas para el desarrollo.

Así pues, tras la década de 1930, los Estados Unidos trabajaban en programas de desarrollo y programas de compensación. Los programas de compensación no contrarrestaban totalmente o no eliminaban los efectos de los programas de desarrollo. Mientras la agricultura continuaba mejorando su tecnología, los programas que controlaban el suministro de alimentos al mercado sólo servían para hacer más lento el crecimiento de la producción agrícola, no para detenerlo. Entre 1950 y 1972, el precio de las nuevas inversiones tecnológicas permaneció favorable con respecto a los precios moderados del producto, y la productividad agrícola continuó avanzando. Las explotaciones agrícolas se hicieron mayores y más especializadas, dedicándose al cultivo de la tierra o al ganado, pero no a ambas actividades a la vez. Las explotaciones agrícolas propiamente dichas incrementaron grandemente la utilización de abonos, pesticidas, maquinaria agrícola y otros artículos importantes. Por ejemplo, el uso de abonos aumentó aproximadamente un 276 por ciento entre 1950 y 1972. La mecanización motorizada aumentó sólo alrededor de un 30 por ciento, pero en 1972 habían menos explotaciones que en 1950, y la explotación media estaba mucho más mecanizada que su correspondiente de 1950. Como resultado, la mano de obra descendió aproximadamente un 54 por ciento respecto al período anterior, mientras se cuadruplicaba la productividad laboral y el producto agrícola total aumentaba alrededor de un 55 por ciento.

Los programas compensatorios requerían un gran desembolso de fondos y, hacia la década de 1960, el gasto público era altísimo. Hacia 1968 el coste total de los programas ascendía a 5700 millones de dólares por año, y hacia 1972 había alcanzado los 7000 millones de dólares. En 1965, se exportó más de la tercera parte del trigo cultivado en los Estados Unidos, y, en 1970, más de la cuarta parte. Incluidas en los programas de ayuda a la alimentación se subvencionaron otras exportaciones: pienso, arroz, tabaco y leche. La década de 1970 parece así, en un principio, como una continuación de la de 1950 y 1960.

Sin embargo, nadie podía prever el fracaso de la cosecha rusa de trigo de 1972. De ahí que las exportaciones norteamericanas de trigo se duplicaran entre 1971 y 1972. También aumentaron las exportaciones de piensos. Con el fracaso de la pesca de la anchoveta en Perú en 1973 y 1974, y la consiguiente merma de proteínas en áreas que confiaban en la anchoveta como suplemento dietético, en 1973 las exportaciones norteamericanas de soja, rica en proteínas, pasaban del doble de las de 1971.

Con niveles tan altos de exportación, los precios de los productos agrícolas se alzaron sensiblemente. Además, las cosechas norteamericanas mostraban una producción récord tanto en 1974 como en 1975. Los ingresos agrícolas alcanzaron así niveles récord. El rápido movimiento ascendente de ingresos puso a los agricultores en una posición muy favorable respecto a los bienes de capital. Aunque algunos agricultores aprovecharon la oportunidad para pagar sus hipotecas antes de su vencimiento, la mayoría invirtió sus ganancias en la adquisición de nuevo equipo agrícola, elevando su nivel de vida y ampliando sus explotaciones comprando nuevas tierras.

El resultante fue que los valores inmuebles agrícolas habían pasado a ser más del doble entre 1970 y 1975.

Los programas de control del abastecimiento desaparecieron a principios de 1974. De ahí que en los últimos tres años la agricultura norteamericana actuara en un mercado libre.

Si bien los programas de compensación han mantenido los ingresos agrícolas a niveles aceptables, han provocado un efecto adverso sobre algunos grupos y condiciones foráneos a la explotación, efecto que no ha aminorado ni siquiera con la interrupción de los programas.

El cambio ocurrido en las faenas agrícolas, con su elevado rendimiento y su mayor grado de mecanización, ha afectado seriamente a las comunidades rurales que viven en áreas agrícolas. Con el declive de la población agrícola, se ha mermado la demanda de bienes y servicios en los pueblos. El empleo y las oportunidades de ingresos han diminuido notablemente en las comunidades rurales típicas. Al emigrar la gente de las comunidades rurales, quedaban menos personas para recabar instituciones educativas, asistencia sanitaria y otros servicios públicos. Con la reducción de la demanda, estos servicios disminuyeron en cantidad y calidad y aumentaron en costo.

Los grupos no agrícolas de las comunidades rurales sufrieron grandes pérdidas de capital cuando los negocios rurales cerraron y sus empleados se mudaron a otros lugares, abandonando en muchos casos sus viviendas a la ruina. Aunque los programas de compensación contribuyeron a evitar que las explotaciones agrícolas perdieran sus ingresos, no se planearon unos programas similares para otras empresas en las zonas rurales.

El rápido desarrollo agrícola norteamericano de las últimas décadas se ha dejado sentir profundamente en el medio ambiente. Las explotaciones agrícolas son ahora mayores y están más especializadas en cultivos como trigo, maíz y soja, agotando el suelo de ciertos nutrientes específicos y requiriendo mayores cantidades de abono. Mientras los programas gubernamentales de control de abastecimiento restringían las zonas de cultivo en las décadas de 1950 y 1960, los agricultores cultivaron sus restantes tierras con mayor intensidad e, incluso, aplicaron mayor cantidad de abonos y pesticidas. De este modo, la carga impuesta a ríos y lagos aumentó con un mayor flujo de sedimentos y productos químicos residuales.

En otro orden, el desarrollo de la agricultura norteamericana ha alentado el crecimiento de una completa industria agrícola –"la empresa agrícola"– de la que la explotación propiamente di-

EL GRAFICO DE INGRESOS y producción muestra los sectores en los que operó la agricultura norteamericana en 1970. Los números de las casillas se refieren a millones de dólares, según el valor del dólar en 1967. Los ingresos en la agricultura se encuentran en las columnas verticales. La aportación de la agricultura al resto de la economía se encuentran en líneas horizontales. Un guión (-) en una casilla indica que no hubo transacción; un asterisco (*) indica que ésta no llegó a los 500 millones de dólares. El gráfico fue elaborado con la ayuda de Anne P. Carter, de la Universidad de Brandeis.

cha constituye una pequeña parte. La industria agrícola moderna tiene tres componentes principales. El primero es la industria de elaboración, que produce la semilla, máquinas, abonos, pesticidas, combustibles y otros materiales necesarios para los cultivos a gran escala. El segundo componente es la propia explotación, que aplica tales materiales en sus cultivos y a la cría de ganado. El tercer componente es la industria de transformación de los alimentos que, cosechados los productos agrícolas, los transporta a los centros de transformación donde son cocinados, envasados, congelados, deshidratados, reconstituidos, envueltos, etiquetados y distribuidos a continuación a los canales de mayoristas y detallistas.

La industria elaboradora suministra ahora muchos productos que antes se obtenían en explotación. Los tractores sustituyen hoy a los animales de tiro, los combustibles fósiles al pienso y los abonos químicos al estiércol y a los cultivos que fijan el nitrógeno. Estos avances no sólo han trasladado una mayor proporción de la fuerza laboral agrícola de la explotación al sector de elaboración, sino que también han aumentado los costes efectivos del cultivo en el porcentaje del coste total. Al haber aumentado los costes efectivos, los beneficios agrícolas se han convertido en mucho más vulnerales a las fluctuaciones de los precios.

En los últimos años, el sector de transformación ha alcanzado, dentro de la industria agrícola, unas proporciones mayores que las del propio cultivo. En 1975, por cada dólar que el consumidor se gastaba en alimentos comprados al minorista, 42 centavos fueron a parar al agricultor y 58 a la industria alimentaria. Ahora, hasta la propia familia de agricultores que vende sus cosechas, en vez de recurir a los productos cultivados y preparados en sus tierras, compra en el supermercado los alimentos congelados, envasados y preparados para el consumo doméstico.

La mayor parte del coste de la manipulación y la transformación de los productos alimenticios, desde la cosechadora al almacén minorista, corresponde a la mano de obra, que se apunta el 51 por ciento. El 49 por ciento restante se reparte entre la mercantilización real del alimento, los materiales para encajonar y envasar los alimentos, el transporte, alquiler, depreciación, promoción, interés, arreglos, impuestos y otros gastos. Estos costes continuarán aumentando mientras los consumidores, incluidas las familias agricultoras, demanden una transformación cada vez más generalizada y un mayor número de servicios adjuntos a los propios alimentos. La tendencia alcista sigue su línea ascendente, favorecida por el auge de la industria de los alimentos preparados y el número creciente de personas que comen fuera de casa.

El cambio operado en la naturaleza de la agricultura ha mejorado notablemente la posición financiera de los agricultores dueños de grandes extensiones; para ellos el período comprendido entre 1960 y 1975 ha sido el más provechoso de la historia de la agricultura. La situación no resulta tan favorable para los agricultores que empiezan desde cero. Debido a la inflación en general, y a la revalorización de las tierras en particular, el capital que se requiere para instalar una nueva explotación es ahora cuantioso. Además, desde que los agricultores bien establecidos invierten sus acrecidas ganancias en aumentar sus propias posesiones, los agricultores que empiezan, o los que sólo poseen un capital reducido, se encuentran con dificultades para alcanzar una posición competitiva. Hay que esperar, pues, una tendencia creciente hacia las grandes explotaciones comerciales y hacia la extinción de las pequeñas. Además, una parte importante de los agricultores bien establecidos acabarán por retirarse muy pronto y dejarán las explotaciones a sus hijos; la generación joven suele estar mejor preparada y posee más recursos administrativos que sus padres.

Las grandes inversiones de capital por parte de las explotaciones mejor establecidas, el aumento de su tamaño y la intensa competencia existente entre

EL NUMERO DE PEQUEÑAS EXPLOTACIONES ha disminuido entre 1960 y 1974, aumentando en el mismo lapso el número de grandes explotaciones. La razón estriba en que los costes efectivos son ahora tan altos que los agricultores que no poseen un activo muy fuerte son incapaces de competir con los dueños de grandes posesiones. Las granjas se agrupan según el valor de las ventas de sus productos: ventas por valor de más de 100.000 dólares por año *(línea negra)*, **entre 40.000 y 99.999 dólares** *(trazos negros)*, **entre 20.000 y 39.000 dólares** *(línea gris)*, **o menos de 20.000 dólares** *(color)*.

los agricultores estimula a éstos a adoptar nuevos y prometedores avances técnicos. De ahí que, a pesar del elevado coste de la energía y de los productos químicos y de las crecientes limitaciones ecológicas, la agricultura norteamericana dé probablemente un gran salto hacia adelante en los próximos años. Este avance, unido al hecho de que muchos pastos y zonas forestales se están transformando en tierras de cultivo, podría significar que el rendimiento de la agricultura norteamericana continuará aumentando en los años venideros.

El futuro de la agricultura norteamericana dependerá de varios factores, amén de su capacidad productiva. Los dos factores más importantes serán el alcance que lleguen a cobrar las últimas condiciones internacionales y la presencia o ausencia de políticas gubernamentales que afecten a la producción, bien a través de programas de control de abastecimiento o de límites ecológicos impuestos a los abonos, pesticidas y el desgaste por acción solar.

Es probable que el rápido crecimiento de la demanda mundial de exportaciones norteamericanas de cereales, a partir de 1972, se deben parte a elementos transitorios y, en parte, a elementos permanentes. La dureza del clima que azotó a la Unión Soviética y la disminución de la pesca de la anchoveta en Perú son elementos transitorios, intensificados por la doble devaluación del dólar a principios de 1970. Son elementos permanentes la tendencia de alza continua de la población mundial y los ingresos *per cápita,* y el cambio hacia un mayor consumo de carne en los países en vías de desarrollo. Estas tendencias a largo plazo son bastante suaves; a diferencia de los elementos transitorios, no son tan irregulares en la demanda mundial a largo plazo de cereales.

En el mundo hay mucha gente que pasa hambre y que comería más si sus ingresos se lo permitieran o se les diera alimentos gratuitamente. Pero no existe por ahora, ninguna perspectiva de que ocurra algo parecido. De este modo, se intensificará la demanda de grano a los Estados Unidos y a los principales países productores de cereales, al ir en aumento la tasa demográfica y la tasa de ingresos de los países en vías de desarrollo. Dentro de algunos años, esta alza creciente en la demanda mundial de exportación de cereales puede interrumpirse según las cosechas de otros países vayan mejor o peor.

La Unión Soviética y otros países están interesados en reforzar las reservas de cereales para proteger a los consumidores de exageradas oscilaciones en los precios de los productos alimenticios. Sin embargo, hasta que no se creen eficaces reservas mundiales de cereales, o a menos que los Estados Unidos reserven por sí mismas grandes cantidades de cereales, la agricultura norteamericana puede resultar afectada por fluctuaciones aleatorias de los precios en los mercados mundiales, con niveles altos y bajos de exportación y de ingresos. En otras palabras, la perspectiva de precios de cereales y productos alimenticios resulta muy inestable.

Sin embargo, esa inestabilidad no es inevitable. Si las organizaciones internacionales, o una sola organización mundial, pudieran establecer instituciones que pusieran el producto excedente de la agricultura norteamericana a disposición de los países que pasan hambre, y si el esfuerzo resultara económicamente rentable a los agricultores norteamericanos, los Estados Unidos podrían aumentar la producción agrícola y sus exportaciones con una cantidad sustancial que sobrepasaría la producción y las exportaciones de esta década. Los Estados Unidos tienen una considerable reserva de tierras que podrían cultivarse si ello resultara provechoso. Los datos disponibles de los últimos censos muestran que, en 1969, Estados Unidos disponía de 170 millones de hectáreas de tierra cultivable, de las que sólo 135 millones de hectáreas se cultivaban realmente; el resto se destinaban a pastos o barbecho. La nación tiene además una superficie adicional de 106 millones de hectáreas de bosques, praderas y tierras pantanosas susceptible de convertirse en tierra de cultivo si fuese preciso.

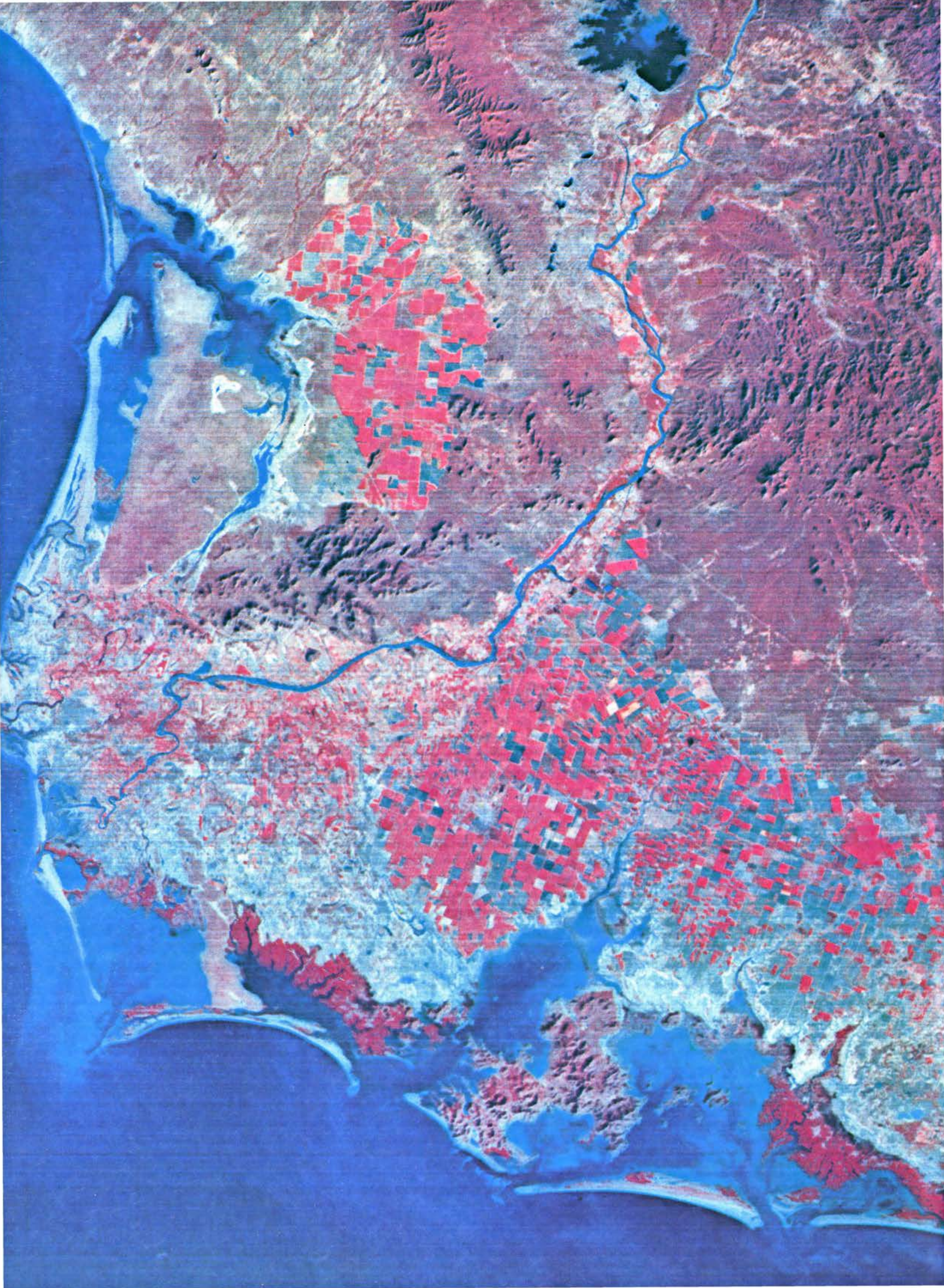
Si las tierras cultivables no aprovechadas se desecasen y roturasen, si el agua se aprovechara eficazmente y si se adoptaran todas las nuevas tecnologías de probado rendimiento, la nación podría satisfacer plenamente, hacia 1985, toda la demanda interna e, incluso, aumentar las exportaciones de cereales hasta un 183 por ciento sobre el nivel medio récord de 1972-1974. Concretamente, las exportaciones de maíz podrían incrementarse un 228 por ciento, las de trigo hacia un 57 por ciento y las de soja en un 363 por ciento, siempre aproximadamente.

Además, si se explotaran algunas de los 106 millones de hectáreas de tierras cultivables en potencia, las exportaciones podrían alcanzar cifras más altas hacia el año 2000.

Las exportaciones de cereales podrían incrementarse, sin roturar siquiera ninguna tierra adicional. Si los consumidores norteamericanos substituyeran sólo un 25 por ciento de la carne de su dieta por las proteínas de la soja, se necesitarían menos cereales para alimentar al ganado; hacia 1985, los Estados Unidos podrían exportar un 80 por ciento más de pienso, soja y trigo que en 1971 y 1974. Alternativamente, si los norteamericanos redujeran alrededor de un 25 por ciento su consumo total de carne, los Estados Unidos podrían exportar un 103 por ciento más de cereales. Ahora bien, si se ensilara el 25 por ciento del cereal destinado a alimentar al ganado, las exportaciones norteamericanas podrían incrementarse aproximadamente en un 110 por ciento. ¿Qué ocurriría si se llevaran a cabo estas tres hipótesis? Hacia 1985, las exportaciones norteamericanas de cereales podrían incrementarse un 135 por ciento.

En mi opinión, todo lo arriba mencionado sugiere que los problemas del hambre en el mundo pueden controlarse si se acometen dos esfuerzos principales. Primero, tal como han subrayado otros autores en este número de *Investigación y Ciencia,* los gobiernos de los países pobres deben estimular activamente el desarrollo de la propia agricultura. Segundo, ya que es improbable que incluso con tal desarrollo todos los países pobres puedan autoabastecerse en el futuro por mucho tiempo, deben crearse instituciones mundiales y mercados a fin de absorber más producción de los países exportadores de productos alimenticios a precios que resulten verdaderamente económicos para sus agricultores.

Hoy día, el coste efectivo de la agricultura se ha elevado hasta tal punto, que los precios de coste del producto agrícola han duplicado los de 1970. Tal vez los agricultores norteamericanos no se arriesgarán a aumentar su producción a niveles altos a menos que se garanticen algunos precios de base. Mientras no se adopten estas garantías, y no entren en vigor políticas estatales a nivel mundial que establezcan reservas de cereales en previsión de años malos, la inestabilidad de los precios mundiales del cereal impedirá a los agricultores norteamericanos ampliar las tierras que cultivan y aumentar su producción.



La agricultura de México

La "revolución verde" ha constituido un éxito notable entre los agricultores más importantes de las grandes explotaciones comercializadas. Ahora es necesario extender sus beneficios a la mayoría de los campesinos de los sectores agrícolas tradicionales

Edwin J. Wellhausen

A México le corresponde una posición intermedia especial en cualquier examen comparativo de la evolución de la agricultura en los distintos países del mundo. Durante los últimos treinta años, México ha hecho notables progresos en la ampliación de su capacidad para producir alimentos; a pesar de ello, subsisten todavía muchos y graves problemas. Después de haber llevado a cabo una revolución agrícola, el país necesita otra urgentemente. Es esta paradoja, precisamente, lo que convierte el caso del desarrollo agrícola mexicano en un ejemplo interesante, particularmente adecuado para su inclusión en un panorama del estado actual de la agricultura mundial.

El gobierno mexicano persigue tres objetivos en su política agrícola: 1) producir los alimentos y las fibras suficientes para satisfacer las necesidades de una población en aumento; 2) obtener productos agrícolas exportables, que den divisas; 3) incrementar los ingresos y elevar el bienestar general de la población campesina. ¿Qué resultados ha obtenido México durante los últimos años en el logro de esos objetivos?

Durante la década de los treinta y los primeros años del decenio siguiente, la producción de alimentos del país se hallaba estancada. Hacia 1945, México importaba entre el 15 y el 20 por ciento de los cereales consumidos en el país, especialmente trigo y maíz, con objeto de contribuir a la alimentación de sus 22 millones de habitantes. Esta situación cambió totalmente durante los dos decenios siguientes, a consecuencia del sorprendente aumento registrado en la producción de cereales básicos. En 1960, habían desaparecido ya los déficit de productos alimenticios; a partir de 1963, la producción de alimentos empezó a superar la demanda interior, y durante los cinco años siguientes se exportaron cantidades considerables de maíz y trigo.

Luego, a finales de aquel decenio, este dinámico crecimiento empezó a debilitarse y, durante los primeros años de la década de los setenta, México volvía a importar entre el 15 y el 20 por ciento de los cereales básicos que consumía el país. ¿Por qué razón? ¿Cuáles eran los problemas existentes? ¿Cuáles son las posibilidades de restablecer el equilibrio entre la producción de alimentos y el crecimiento de la población?

Los veinte años transcurridos entre 1950 y 1970 fueron los del gran auge en la producción de alimentos. A pesar de que, en 1965, la población del país había alcanzado ya los 43 millones de habitantes, México fue capaz de absorber los déficit de productos alimenticios que arrastraba y aún logró producir excedentes para la exportación. Según cálculos del Banco Nacional de México, el país exportó 5,4 millones de toneladas de maíz, 1,8 millones de toneladas de trigo y 339.000 toneladas de frijoles durante el período 1964-1969. (La mayor parte de estas exportaciones se realizaban con pérdidas, pues entonces los precios mundiales eran más bajos que los precios garantizados por el gobierno.)

Entre 1950 y 1970, la producción de trigo aumentó desde 300.000 toneladas hasta 2,6 millones de toneladas al año, más de ocho veces en el corto espacio de veinte años. Los rendimientos por unidad de superficie se multiplicaron por cuatro, pasando de 750 a 3200 kilogramos por hectárea. Durante cierto tiempo, el gobierno tuvo que limitar la superficie plantada de trigo para evitar la acumulación de excedentes desmesurados.

Durante el mismo período, la producción de maíz experimentó un aumento semejante, aunque no tan espectacular, del 250 por ciento: desde los 3,5 millones de toneladas obtenidos en los años de lluvias abundantes, a finales de la década de los cuarenta, hasta los 9 millones cosechados en 1968. El rendimiento promedio por hectárea aumentó de 700 a 1300 kilogramos. El maíz es el producto básico de la alimentación de los mexicanos. Alrededor de la mitad de la superficie cultivada del país se planta cada año con maíz, predominantemente en tierras de secano.

Durante el período 1950-1970, la producción anual de frijoles casi se duplicó, pasando de 530.000 a 925.000 toneladas aproximadamente. El maíz y los frijoles, consumidos en la proporción de tres a uno, más o menos, constituyen la alimentación básica de la población, tanto rural como urbana. Una gran parte de las proteínas de este régimen alimentario procede de los frijoles.

En 1950 se produjeron unas 200.000 toneladas de sorgo. Para 1970, la producción de este cereal había alcanzado los 2,7 millones de toneladas al año, es decir, había aumentado en 14 veces. En México, la mayor parte del sorgo producido se utiliza para el engorde de cerdos y aves de corral. A consecuencia de ello, la producción de carne de cerdo y de pollo, así como de huevos, aumentó espec-

LAS OBRAS DE REGADIO A GRAN ESCALA han transformado la árida planicie costera noroccidental de México en una de las regiones agrícolas más productivas del país. La imagen en color falseado de la página opuesta, confeccionada con datos obtenidos el 11 de enero de 1973 por un sistema de barrido multiespectral instalado en el satélite LANDSAT 1, muestra una parte de esta nueva faja fértil, cerca de los límites entre los estados de Sonora y Sinaloa. En esta región se obtiene una gran variedad de productos agrícolas para la alimentación, en régimen de rotación continua de cultivos. El trigo se cultiva durante los meses de invierno, que acostumbran ser fríos y secos.

tacularmente, de acuerdo con la creciente demanda de la población urbana.

En 1950, las semillas de soja eran prácticamente desconocidas en México, mientras que en 1970 se obtenían ya unas 275.000 toneladas, lo que significó una aportación importante al abastecimiento de aceites vegetales y proteínas.

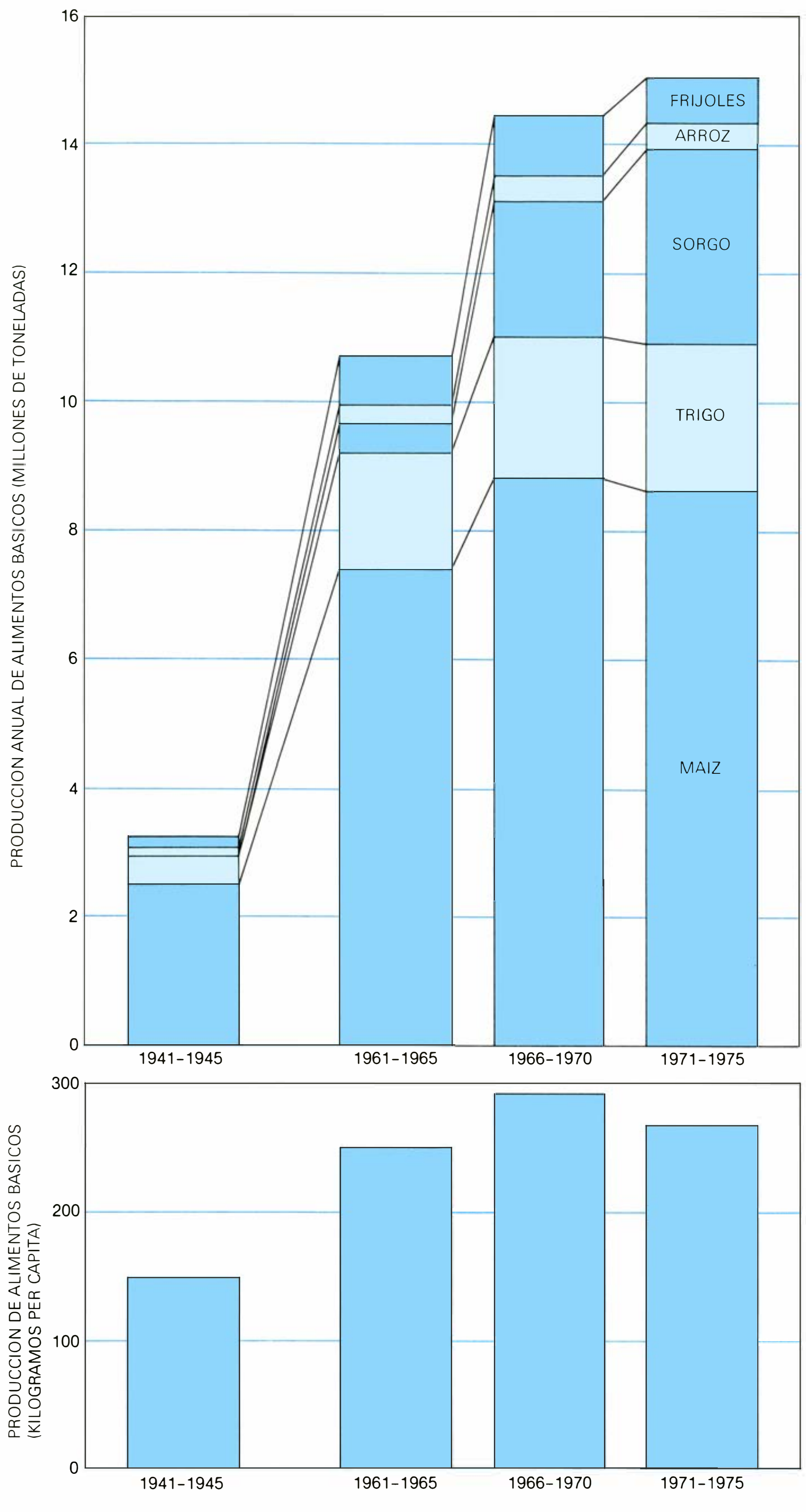
Estos logros, tan extraordinarios, son conocidos en círculos internacionales como la "revolución verde". Aunque en todo ello intervino un gran número de factores económicos, políticos y sociales, el motor principal de este avance fue una combinación de tres factores de carácter tecnológico: 1) el desarrollo de nuevas variedades de plantas de alto rendimiento, muy adaptables, que responden bien al empleo de abonos y son resistentes a las enfermedades; 2) el desarrollo de un "paquete" o conjunto coordinado de prácticas agrícolas perfeccionadas, entre las que se incluyen un mejor aprovechamipnto de los suelos, una aplicación adecuada de los abonos y un control efectivo de las malas hierbas y los insectos, prácticas que hicieron posible que las nuevas variedades desarrollaran plenamente su alto rendimiento potencial; 3) una proporción favorable entre el coste de los abonos y de los restantes factores de la producción y el precio que recibía el agricultor por el producto obtenido.

La primera fase de la revolución agrícola mexicana se inició en 1943 con la puesta en práctica de un programa cooperativo de mejoras agrícolas por parte de la Secretaría de Agricultura mexicana y la Fundación Rockefeller. El objetivo declarado de este programa era el incremento de la producción de alimentos básicos mediante la mejora genética de las variedades de plantas de cultivo, el mejoramiento de los suelos y el control de las plagas de insectos y de las enfermedades de las plantas. La meta complementaria era la capacitación de jóvenes de ambos sexos en la investigación agrícola, así como en la iniciación de los métodos necesarios para promover la rápida adopción de las nuevas técnicas. Este programa conjunto estuvo en funcionamiento durante 16 años (desde 1943 hasta 1959) y en sus momentos de mayor actividad llegó a contar con un personal especializado formado por 100 hombres de ciencia mexicanos y 20 extranjeros. Se realizaron extraordinarios avances en la consecución de ambos objetivos.

Durante el cuarto de siglo que separa 1945 de 1970, la población de México creció en un 220 por ciento; durante el mismo período, la producción de maíz



LA TOPOGRAFIA MONTAÑOSA DE MEXICO, sumada a la distribución enormemente irregular de la pluviosidad, limita la tierra cultivable a un 15 por ciento de la superficie total del país. En la actualidad sólo se cultiva un 9 por ciento de este total. Más de la mitad de la superficie cultivada se encuentra en la altiplanicie meridional, donde predominan las tierras de secano *(rayado)*. Las tierras de regadío, muy productivas cultivadas en distintos regímenes de rotación continua comprenden, además de la planicie costera noroccidental, ciertas partes de los estados de Coahuila, Chihuahua, Baja California y Tamaulipas *(en gris claro)*. Otra región, formada por tierras de secano, donde también se practica la rotación continua de cultivos abarca el este de San Luis Potosí y la parte septentrional de Veracruz *(en gris obscuro)*. La mayor parte de las tierras agrícolas no explotadas aún corresponden a las áreas tropicales situadas a lo largo del Golfo de México.



LA PRODUCCION DE ALIMENTOS BASICOS de origen agrícola creció espectacularmente en México durante el período 1945-1965; con posterioridad, la producción total de alimentos se estancó paulatinamente y se hizo evidente que el impacto producido por la revolución técnico-agrícola ya no podía dar más de sí *(histograma superior)*. Desde 1970 la producción per cápita ha disminuido incluso un poco *(histograma inferior)*, a medida que la población (62 millones de habitantes en la actualidad) ha seguido creciendo a una tasa anual de alrededor del 3,5 por ciento. Según el autor, el crecimiento de la producción agrícola mexicana puede volver a alcanzar una tasa elevada (superior a la del auge de la población) si se adoptan las prácticas agrícolas recomendadas.

lo hizo en un 250 por ciento. Una parte de este incremento se debió a la ampliación de la superficie plantada con maíz, pero, en definitiva, se puede atribuir a la mayor utilización de semillas seleccionadas y abonos químicos. En buenas condiciones, algunas de las variedades mejoradas rindieron hasta el 100 por ciento más que los tipos anteriormente existentes.

Después de un largo período de experimentación, se llegó a la conclusión de que en la mayoría de los suelos el principal elemento limitante era el nitrógeno. En la década de los años cincuenta, se había conseguido ya que una hectárea, que normalmente producía 1000 kilogramos de maíz, llegara a dar 4000 kilogramos por lo menos mediante la aplicación de 100 kilogramos de nitrógeno (en forma de diversos nitratos), combinada con la utilización de semillas selectas y contando con la humedad apropiada. Esto equivale a una proporción de 30 kilogramos de maíz por kilogramo de nitrógeno. Por aquel entonces, el kilogramo de nitrógeno puro costaba unos cuatro pesos y el costo de 30 kilogramos de maíz era de 24 pesos. Así pues, el agricultor recuperaba, multiplicado por seis, el dinero invertido en nitrógeno (sin contar otros gastos, como los tratamientos perfeccionados contra las malas hierbas y la cosecha del maíz obtenido de más). Antes de los primeros años de la década de los cincuenta, gran parte de las tierras de labor se dejaban en barbecho periódicamente para que crecieran las malas hierbas, incluyendo las legumbres silvestres, debido a que la fertilidad había disminuido tanto que ya no era económicamente viable su cultivo. Esta práctica fue rápidamente abandonada donde se pudo contar con dinero o créditos para comprar abonos químicos. Una gran parte del aumento de la superficie plantada con maíz y frijoles, durante los años del gran auge, obedecía a este solo factor.

En México, el trigo se cultiva en tierras de regadío durante los meses de invierno, fríos y secos. Las variedades de que se disponía hasta los años cuarenta resultaban fácilmente afectadas por la roya de los cereales, y cada año muchos campos resultaban completamente destruidos o gravemente dañados por esta enfermedad. Ante semejante perspectiva, los agricultores no se arriesgaban a gastar demasiado dinero en abonos, suponiendo que llegaran a hacerlo. La situación cambió rápidamente con la introducción de variedades resistentes a la

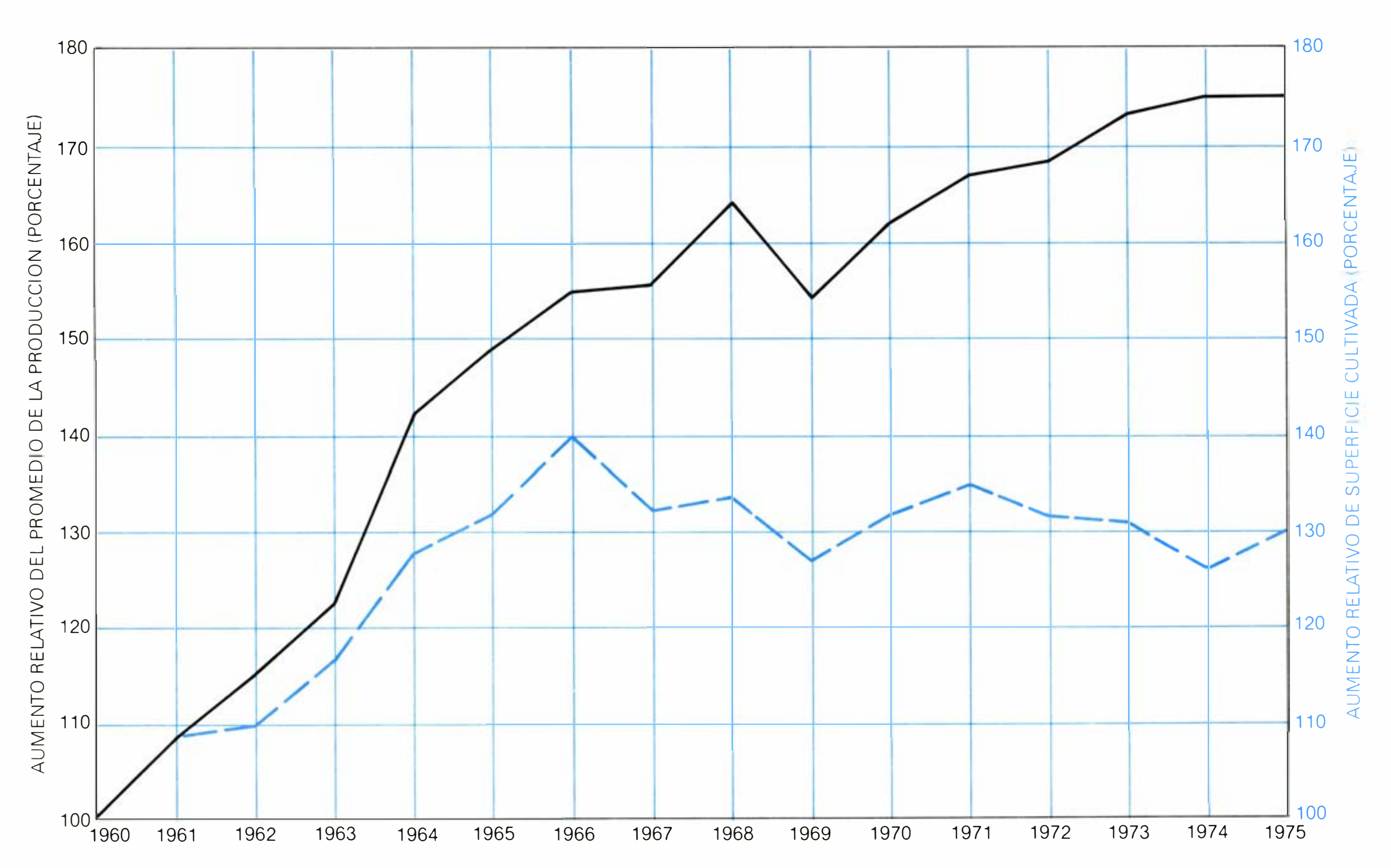
roya, que convirtieron la aplicación de abonos en una operación muy rentable. Las primeras variedades de este tipo empezaron a emplearse a principios de la década de los cincuenta, pero el gran aumento de la producción no se registró hasta los inicios del decenio siguiente, con la popularización de las variedades enanas resistentes a la roya, que respondían con mayor eficacia a un empleo más intenso del nitrógeno y del fósforo sin "acostarse" (es decir, sin inclinarse el tallo hacia el suelo debido al peso excesivo de la espiga). A partir de entonces, los rendimientos por unidad de superficie empezaron a subir rápidamente, a medida que los agricultores intensificaban el empleo de fertilizantes.

Durante estos años de auge agrícola y gracias a la aplicación de las nuevas técnicas, también aumentaron considerablemente los rendimientos de otros cultivos destinados a la alimentación, como los frijoles, los tomates, las patatas y el sorgo. La Organización para la Agricultura y la Alimentación, de las Naciones Unidas, calculó en 1959 que la producción agrícola de México había crecido a un promedio del 7 por ciento anual durante el decenio 1950-1959. Esta tasa de aumento era bastante más elevada que la conseguida por cualquier otro país de América Latina.

Un factor importante que contribuyó a estos logros fue la capacitación acelerada de personal a través del propio programa. Unos 750 jóvenes de ambos sexos participaron directamente en las distintas fases del programa, tanto en los laboratorios como en el campo, durante los 16 años de duración de aquél. Gran parte del trabajo de investigación se llevó a cabo en los mismos campos, en colaboración con los agricultores más emprendedores. Esta labor de capacitación no se limitó a los mexicanos, sino que incluyó a personas de otros países latinoamericanos, que luego colaboraron en los programas de fomento agrícola de sus propios países.

En 1952, muchos de los técnicos mexicanos formados en el programa se incorporaron a la campaña de producción iniciada por la Secretaría de Agricultura con objeto de asesorar a los agricultores en la aplicación del conjunto de nuevas prácticas y técnicas a cuya puesta a punto habían colaborado ellos mismos personalmente. A los que demostraron poseer aptitudes para la investigación y su posterior aplicación al desarrollo agrícola, se les brindó la oportunidad de ampliar estudios en el extranjero, en algunas de las más prestigiosas escuelas superiores de agricultura de todo el mundo. En 1959 se iniciaron en México los estudios superiores de agricultura, en la Escuela Nacional de Agricultura de Chapingo, cerca de la capital del país. Este centro, que cuenta con un profesorado muy capacitado y de una gran experiencia práctica, se ha convertido paulatinamente en uno de los más prestigiosos de América Latina.

A finales de la década de los sesenta se hizo evidente que el impacto producido por esta revolución técnico-agrícola ya no podía dar más de sí. La producción agrícola total se estancó paulatinamente y una vez más la tasa de crecimiento de la población empezó a superar la del crecimiento agrícola. El incremento de la producción de maíz, por ejemplo, se estabilizó a partir de 1965 en unos nueve millones de toneladas anuales. Por el contrario, la demanda de maíz se elevó

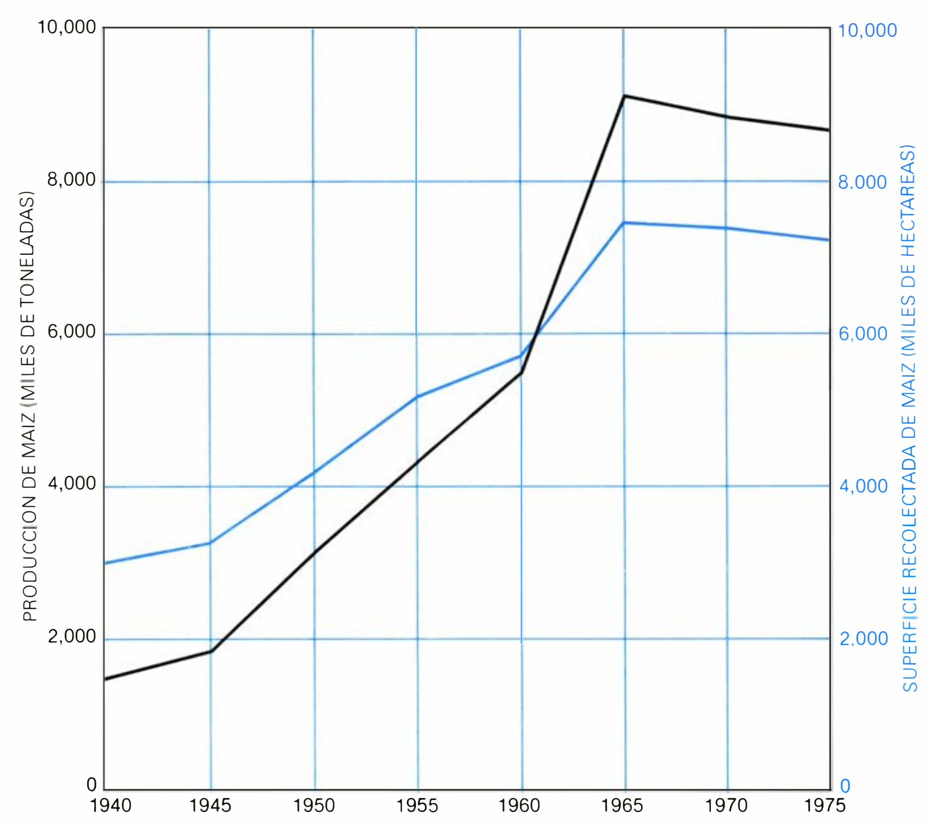


LA RECIENTE TENDENCIA AL ESTANCAMIENTO en la producción conjunta de los 25 cultivos principales de México queda patente en este diagrama, que resume los datos de los últimos 15 años según dos índices de crecimiento agrícola: la producción media anual *(línea negra)* **y la superficie cultivada total** *(línea de color).* **Los 25 productos son: maíz, trigo, arroz, sorgo, cebada, frijoles, semillas de soja, patatas, tomates, cebollas, ajos, garbanzos, alfalfa, fresas, melones, sandías, azúcar, algodón, café, cacao, tabaco, ajonjolí, cacahuete, lino, cártamo.**

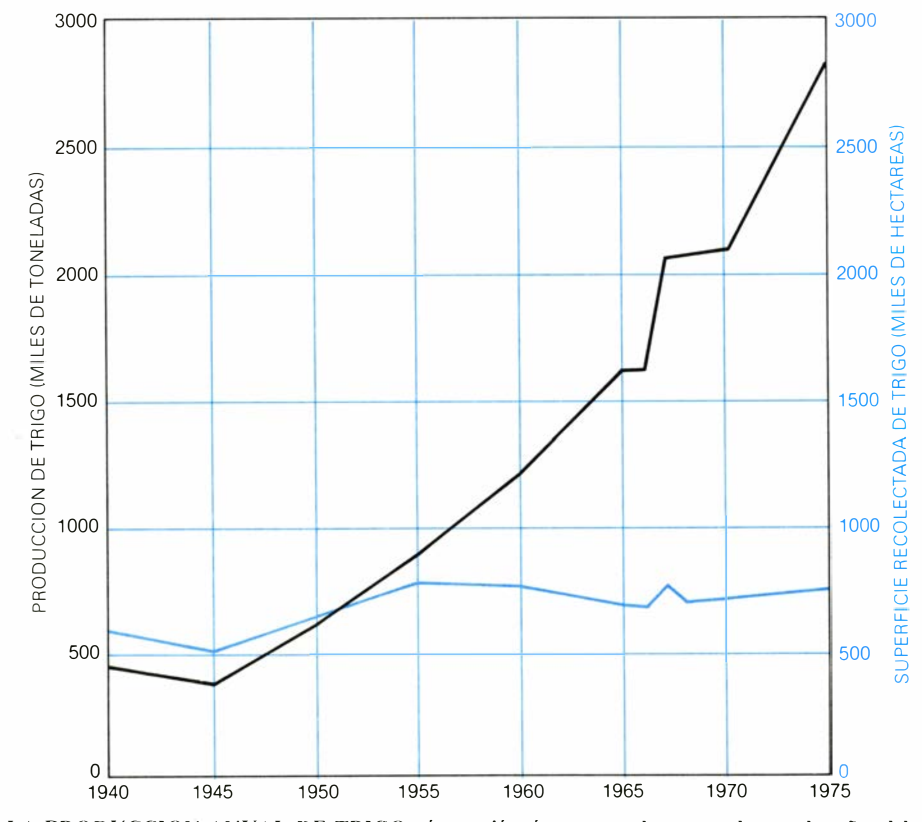
a 10,5 millones de toneladas aproximadamente en 1975, originando un déficit de alrededor de 1,5 millones de toneladas. Esta diferencia equivale al 17 por ciento, de modo que, en cuanto a la oferta y la demanda de maíz, la situación volvía a ser bastante parecida a la de 1945. Por fortuna, la oferta y la demanda de otros productos agrícolas destinados a la alimentación, como los frijoles, el arroz, las hortalizas y el sorgo, se equilibran más o menos. El déficit actual se registra sobre todo en el maíz. A consecuencia de ello, la importación de cereales ha crecido notablemente a partir de 1970.

La situación actual puede atribuirse parcialmente a determinados cambios de orientación en la política oficial referente a la producción cerealista y a las proporciones entre costes y precios, pero resulta que las cosas son algo más complicadas. Un análisis cuidadoso de la cuestión pone en evidencia que la revolución en la producción agrícola ha tenido éxito principalmente entre los agricultores más importantes, más integrados en la agricultura comercial, que se hallaban en mejor situación para costearse los fertilizantes y los demás factores de la producción. Por otra parte, tal como cabía esperar, las nuevas tecnologías arraigaron más sólidamente en aquellas zonas donde los riesgos de la producción eran menores y las perspectivas de obtener beneficios más prometedoras. En definitiva, el progreso técnico no ha beneficiado por igual a todos los agricultores.

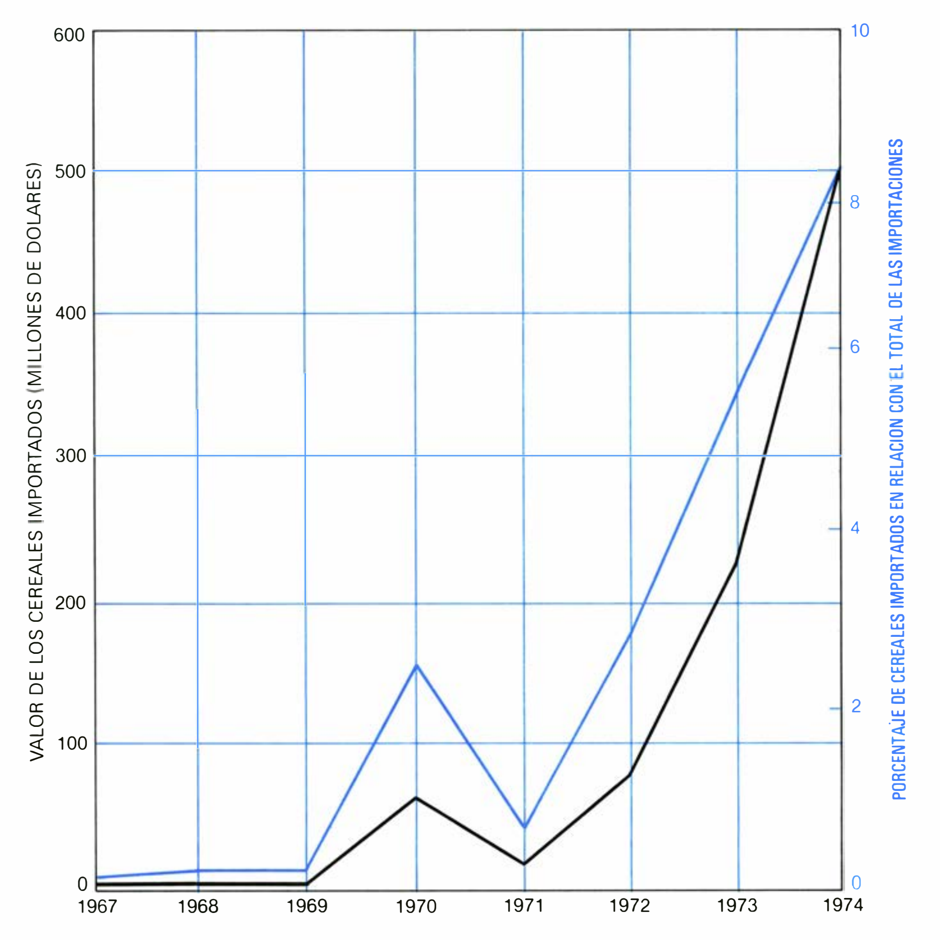
La producción de trigo, por ejemplo, corresponde a los agricultores más avanzados de las tierras de regadío situadas en el noroeste del país, en la costa del Pacífico, así como de la parte occidental de la altiplanicie meridional, donde hay suficiente agua para regar durante la estación seca invernal; en cambio, el maíz ha quedado relegado principalmente a los agricultores más pequeños y atrasados de las regiones de secano, de pluviosidad con frecuencia irregular. Las nuevas técnicas en la producción de maíz han sido adoptadas generalmente por los agricultores más evolucionados, que practican una agricultura comercial en determinadas áreas caracterizadas por la buena distribución de las precipitaciones durante la estación de las lluvias. El sorgo, que en principio es una planta adaptada a las regiones secas de pluviosidad muy variable, se cultiva sobre todo entre agricultores de orientación comercial en las regiones de mayor pluviosidad y a menudo en tierras de regadío.



LA PRODUCCION DE MAIZ creció a una tasa más elevada que la del incremento de la población entre 1945 y 1965; a partir de este último año se estancó a un nivel de nueve millones de toneladas al año aproximadamente *(negro)*. Una parte del crecimiento experimentado durante los años del auge se debió al aumento de la superficie plantada *(color)*, pero sobre todo al aumento de los rendimientos. Cerca del 98 por ciento del maíz producido se consume en forma de tortas.



LA PRODUCCION ANUAL DE TRIGO aún creció más espectacularmente, durante los años del gran auge de la agricultura mexicana; los rendimientos por unidad de superficie se multiplicaron por cuatro entre 1950 y 1970. Los rendimientos sumamente elevados obtenidos en años recientes en tierras de regadío con las nuevas variedades enanas de trigo, resistentes a las enfermedades, se pueden cotejar con la producción triguera *(negro)* y con las hectáreas sembradas por año *(color)*.



LA IMPORTACION DE CEREALES ha registrado un acusado incremento en los últimos años, a causa del creciente déficit en la producción mexicana de maíz. Este gráfico muestra las importaciones en valor absoluto, (en dólares), y en porcentajes respecto al total de las mismas *(color).*

Hasta 1968, la revolución agrícola mexicana siguió avanzando, arrastrada principalmente por su propio impulso, sin que se llevara a cabo un esfuerzo sostenido para proporcionar asistencia técnica a los agricultores. ¿Ocurre quizá que en las actuales circunstancias la tasa de crecimiento en la producción de alimentos ha disminuido porque el sector rural ya no cuenta con clientes capaces de aprovechar el conjunto de las nuevas técnicas en la forma con que se les ofrece ahora? ¿Es necesario acaso poner a punto nuevas técnicas más apropiadas para las áreas de secano de pluviosidad mal repartida? ¿Es que hay que reorganizar los programas de asistencia técnica a nivel de los agricultores, para lograr que éstos adopten las nuevas técnicas de mejora con mayor rapidez? ¿Se hará crónico el actual déficit debido a que en México se está agotando la tierra cultivable? Todos estos problemas exigen un examen más pormenorizado de las características actuales y de los problemas futuros de la agricultura mexicana.

La extensión total de México es de unos 195 millones de hectáreas (una cuarta parte, aproximadamente, de la de los Estados Unidos). Según las estimaciones más corrientes, unos 30 millones de hectáreas, equivalentes al 15 por ciento de la superficie total del país, son cultivables, pero en la actualidad sólo están labradas unas 16.776.000 hectáreas, equivalentes al 8,6 por ciento. Se trata de una extensión algo mayor que el área total cultivada en el estado norteamericano de Iowa. Las tierras restantes son demasiado áridas, demasiado húmedas o demasiado montañosas para el cultivo agrícola.

La mayor parte del área agrícola potencial, no explotada aún, se encuentra en las tierras bajas tropicales. Una parte importante de estas tierras está mal avenada, se halla inundada de modo permanente o temporal y sujeta a condiciones peligrosas o difíciles para el establecimiento humano. Las inversiones necesarias para ponerla en cultivo serían muy cuantiosas.

Más de la mitad de las tierras actualmente cultivadas se encuentra en las regiones de secano de la altiplanicie meridional. En esta área, las precipitaciones anuales varían ampliamente y la mayor parte de ellas se produce en un período de cuatro meses que va de julio a octubre. Por añadidura, las precipitaciones son a menudo irregulares durante la estación lluviosa. Aunque la mayoría de las tierras son de secano, es posible regar en parte 1,5 millones de hectáreas aproximadamente. El principal cultivo de esta área es el maíz, pero durante los meses de invierno, en los lugares donde se puede regar, se cosecha también trigo, hortalizas (tomates, sobre todo), fresas, papas y otros productos. La altiplanicie meridional comprende solamente el 15 por ciento de la superficie total de México, pero en ella se concentran no sólo la mitad del área agrícola del país, sino también más de la mitad de la población total

Una de las regiones agrícolas más productivas de México corresponde a la árida planicie costera del noroeste del país, en los estados de Sonora y Sinaloa, donde se ha puesto en regadío una gran extensión de tierras. En esta región se producen cantidades considerables de trigo, hortalizas, soja, caña de azúcar, algodón, cártamo y sorgo, en régimen de rotación continua de cultivos a lo largo de todo el año; los rendimientos por unidad de superficie obtenidos se cuentan entre los más altos del mundo.

Existen también otras áreas más reducidas, pero igualmente productivas, con regímenes de cultivo semejantes, en los estados de Coahuila, Chihuahua, Baja California y Tamaulipas. La rotación de cultivos se practica asimismo en el área que comprende el este de San Luis Potosí y el norte de Veracruz, donde la pluviosidad está bastante bien distribuida durante todo el año. Aunque esta región no es de regadío, proporciona cantidades considerables de maíz, caña de azúcar y frutos tropicales.

Con escasas excepciones, el resto de las tierras cultivadas en la actualidad se halla muy disperso por las dos sierras, occidental y oriental, así como las sierras meridionales, ocupando pendientes pronunciadas, estrechas cadenas montañosas y pequeñas superficies de aluvión en el fondo de los valles. En todas esas áreas predomina una agricultura semicomercial y de subsistencia, basada en el maíz y los frijoles. En la sierras orientales y meridionales, excepto en algunos altos valles de Oaxaca, las precipitaciones

acostumbran ser suficientes durante seis meses al año.

Según un estudio realizado por el Banco Nacional de México, existen en el país 2.816.000 explotaciones agrícolas. El 7,1 por ciento de ellas se consideran modernas, entendiéndose por tales aquellas explotaciones en las que los agricultores más evolucionados, de mentalidad más comercial, aplican con mayor o menor amplitud el conjunto de prácticas y técnicas modernas recomendadas; el 40,5 por ciento se incluye en la categoría de las explotaciones tradicionales semicomerciales, en muchas de las cuales los agricultores aplican una parte al menos de las prácticas agrícolas recomendadas; finalmente, el 52,4 por ciento se considera integrado por explotaciones en régimen de subsistencia, cultivadas por agricultores que compran y venden muy poca cosa y se dedican primordialmente a producir maíz y frijoles en cantidades suficientes para ellos y sus respectivas familias. Como era de esperar, las diferencias entre las tres categorías son extraordinarias, en cuanto al tamaño medio de cada explotación, al porcentaje de tierras de regadío que poseen, a las inversiones de capital y a los ingresos brutos medios. El rápido incremento de la producción agrícola durante los años del auge se debió en primer lugar a los esfuerzos realizados por el sector moderno.

Alrededor de la mitad de las explotaciones agrícolas se encuentra en la altiplanicie meridional. En esta región, las explotaciones tienen una superficie media de 10,7 hectáreas, seis de ellas aproximadamente de tierra laborable. Es en esta región donde se plantean los problemas más graves de la superpoblación y de la agricultura de subsistencia. Muchas de las explotaciones, en régimen de susbsistencia, están situadas en áreas marginales, de suelos pobres y pluviosidad insuficiente.

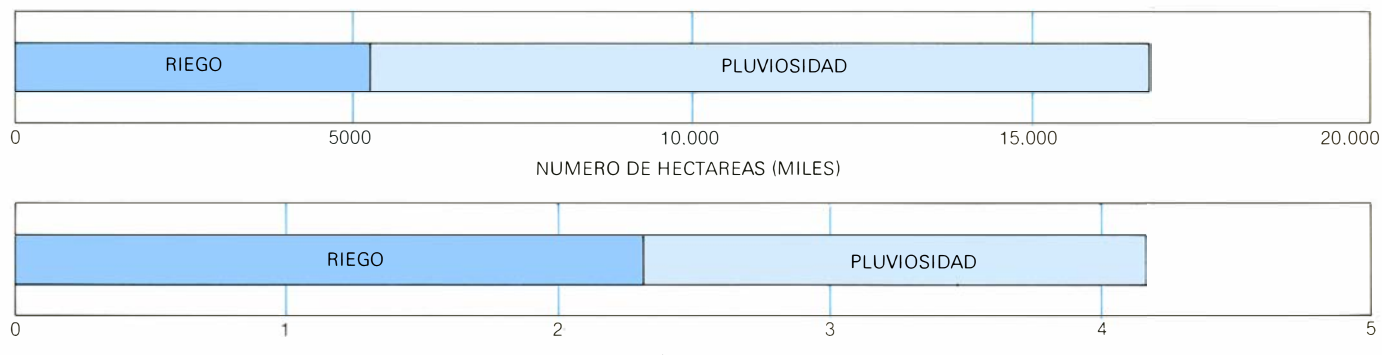
Considerando el país en su conjunto, un número relativamente reducido de explotaciones modernas proporciona alrededor del 45 por ciento de la producción total, obtenida en régimen de agricultura comercial, utilizando sólo un 20 por ciento aproximadamente de la superficie total cultivada. Por el contrario, los dos grandes sectores de la agricultura semicomercial y de subsistencia, tomados conjuntamente, son responsables del 55 por ciento de la producción agrícola total y ocupan el 80 por ciento de toda la superficie cultivada del país. Los agricultores del último sector trabajan principalmente tierras de secano y, en general, su producción está estancada. En muchas partes la pluviosidad suele ser insuficiente y variable, pero, a pesar de ello, se calcula que unas tres cuartas partes de las explotaciones de los sectores semicomercial y de subsistencia son económicamente viables y podrían aumentar su producción, de manera sustancial y de forma rentable, mediante la aplicación de las técnicas modernas.

Las tierras de regadío, que representan una tercera parte de la superficie total cultivada de México, proporcionan alrededor del 55 por ciento de la producción agrícola total del país. Aunque se podrían convertir en regadíos muchas áreas de tierras de secano, la ejecución de grandes obras de regadío en estas áreas agrícolas no parece aconsejable. Ya se utilizan prácticamente todos los recursos hídricos superficiales y subterráneos. La puesta en regadío de nuevas extensiones de tierras sería una operación sumamente costosa. En algunas regiones de regadío de la altiplanicie meridional, la escasez de agua se hace notar cada vez más y desciende el nivel freático de las aguas subterráneas.

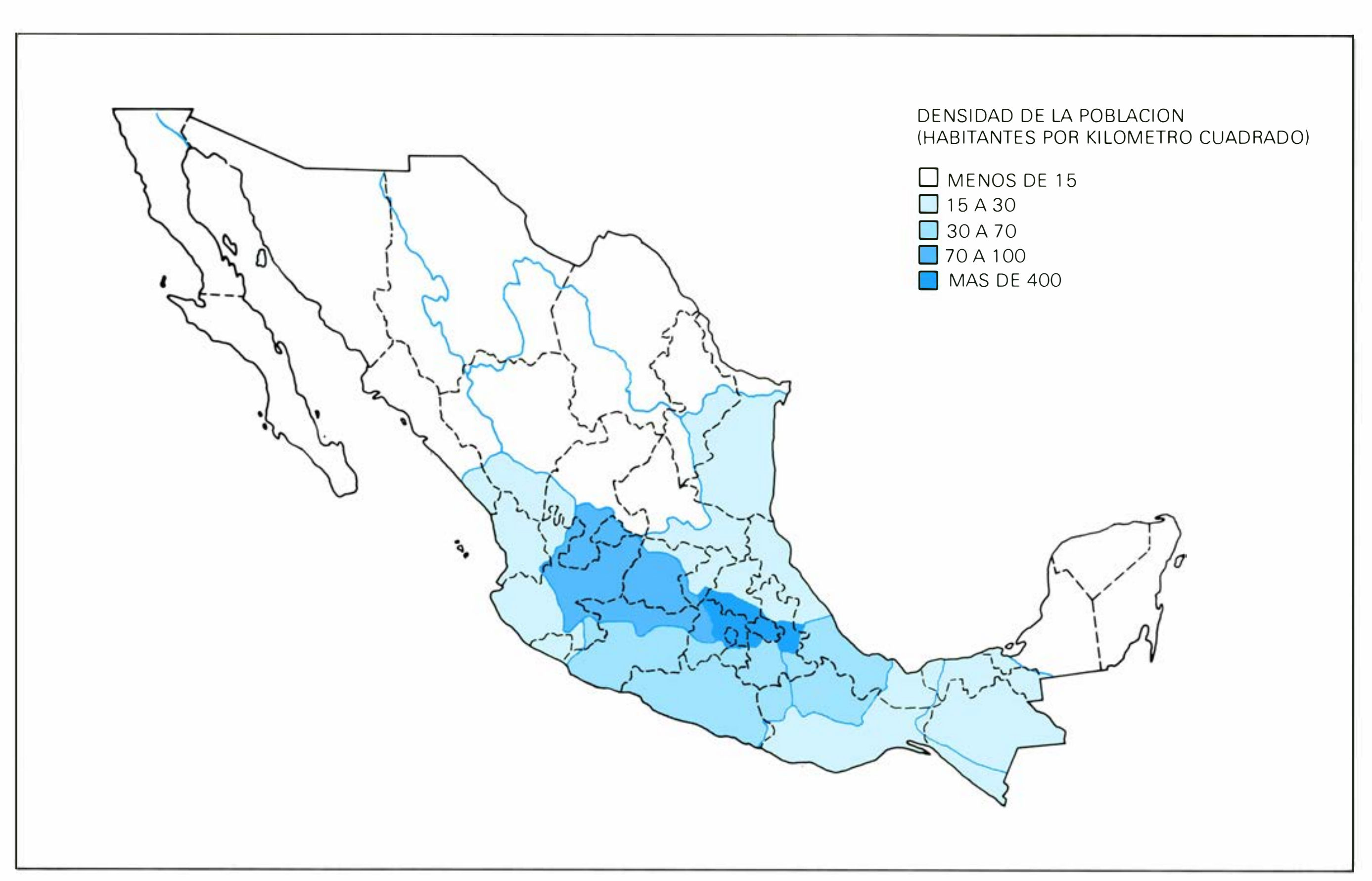
Los regadíos no sólo son más productivos, sino que, si se aplican sistemas de policultivo, tienen la enorme ventaja de que pueden proporcionar una extensa gama de cosechas, incluyendo fruta y hortalizas, sumamente rentables. La agricultura de secano queda limitada al trigo, los frijoles, el sorgo y los garbanzos.

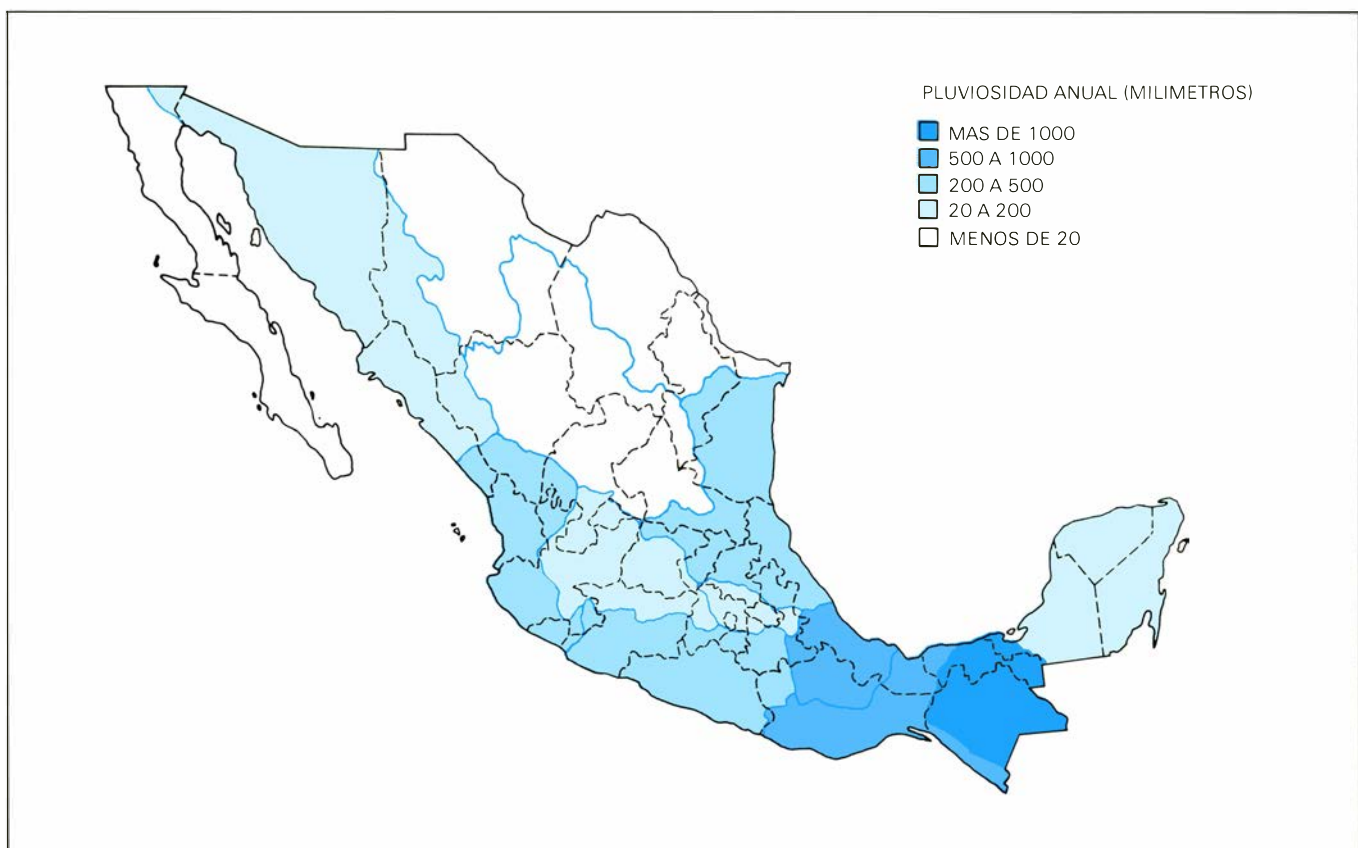
La población actual de México es de unos 62 millones de habitantes, con un índice de crecimiento anual del 3,5 por ciento aproximadamente. (Este índice tan elevado refleja no sólo la alta tasa de fertilidad, sino también la rápida disminución de la mortalidad.) Alrededor de un 40 por ciento de la población, equivalente a unos 23 millones de personas, vive o trabaja en el campo. De esta cifra, 5,1 millones se consideran económicamente activos y 3,5 millones se incluyen entre los subempleados. Si se mantiene la tasa actual de crecimiento de la población, es de esperar que la población rural crezca considerablemente y con ella la cifra de los subempleados, muchos de los cuales buscarán ocupación en las ciudades. En la actualidad, los sectores industrial y de servicios son del todo incapaces de dar empleo al creciente número de desempleados y subempleados rurales.

Aunque se está realizando un gran esfuerzo para mejorar la educación rural, el nivel de instrucción de las personas dependientes de la agricultura semicomercial y de subsistencia sigue siendo muy bajo. Será más fácil convertir la población del sector de la agricultura de



LAS TIERRAS DE REGADIO proporcionan más de la mitad de la producción total de la agricultura comercial mexicana, (en dólares) *(inferior)*, **a pesar de que la superficie puesta en regadío ocupa sólo el 30 por ciento aproximadamente de la superficie cultivada total, calculada en hectáreas** *(superior)*. **Las regiones de regadío, además de una productividad más elevada, admiten mayor variedad de cultivos de rotación continua.**





UNO DE LOS PROBLEMAS MAS GRAVES con que tropieza la planificación de la agricultura mexicana es que la distribución de la población ***(mapa superior)*** **no coincide con la de los recursos hídricos** ***(mapa inferior).*** **Así, la mayor parte de la población (y de las explotaciones agrícolas) se concentra en las áreas más secas del país, sobre todo en la altiplanicie meridional, que cuenta con más de la mitad de la población y con sólo el 10 por ciento de los recursos hídricos nacionales. Por el contrario, alrededor del 40 por ciento del agua aprovechable del país se halla en la húmeda región del Sudeste, donde sólo reside el 8 por ciento de la población. (Según datos compilados por la Secretaría de Recursos Hidráulicos.) A efectos de comparación estadística, en ambos mapas se ha dividido el país en 13 grandes regiones hidrológicas.**

subsistencia, en las regiones marginalmente productivas, en mano de obra agrícola razonablemente productiva, que intentar incorporarla al mundo industrial. Es esencial que aumente la oferta de puestos de trabajo en el propio sector agrícola.

México posee millones de hectáreas de tierras agrícolas de buena calidad, relativamente llanas y fértiles en potencia, situadas en la altiplanicie septentrional y en la planicie costera noroccidental. La agricultura de estas regiones podría aumentar su actual producción de alimentos en varios millones de toneladas... si se contara con el agua suficiente. En estas áreas sólo es posible cultivar la tierra en régimen de regadío, pero ocurre que la mayor parte del agua disponible ya se aprovecha.

Uno de los problemas básicos de la agricultura mexicana es que la distribución de los recursos hídricos no coincide con la de las tierras agrícolas de buena calidad. En la actualidad, las tierras cultivadas y la población se hallan concentradas en las partes más secas o semiáridas del país. La altiplanicie meridional, por ejemplo, donde se halla la mitad de la superficie agrícola y donde vive la mitad aproximadamente de la población mexicana, sólo dispone de alrededor de un 10 por ciento de los recursos hídricos; por el contrario, la región del sudeste, con sólo el 8 por ciento de la población y con escasas tierras de cultivo, posee el 40 por ciento de dichos recursos. Evidentemente, el agua disponible no se encuentra donde sería más necesaria ni donde podría aprovecharse mejor.

Los productos agrícolas destinados a la exportación son esencialmente el algodón, la caña de azúcar, las fresas, los tomates, las cebollas, los melones y las sandías. Se trata, con la sola excepción de la caña de azúcar, de cultivos de regadío principalmente, que se desarrollan durante la estación seca. Hasta 1973, el sector agrícola representaba más de la mitad del valor de las exportaciones mexicanas. En 1974, esta proporción, debido a una serie de factores, bajó al 33 por ciento aproximadamente. Si bien este descenso obedeció en parte a la reducción de las exportaciones de algodón, es cada vez más evidente que el estancamiento general de la producción de los alimentos básicos de origen agrícola fue una de las causas esenciales del mismo.

Durante la campaña 1974-1975, se importaron unos cuatro millones de toneladas de cereales (sobre todo maíz, pero también trigo y sorgo). Esta cuantiosa importación fue necesaria debido a las irregularidades climáticas y al agotamiento casi total de las reservas existentes. A causa de la subida de precios registrada en el mercado mundial, el coste de estas importaciones aumentó en un 103 por ciento en comparación con años anteriores. Al mismo tiempo, los precios de los productos exportados por México sólo subieron un 20 por ciento. Ante esta situación, el gobierno mexicano vuelve a realizar un gran esfuerzo para activar la producción de los alimentos básicos de origen agrícola, a expensas incluso de los cultivos destinados a la exportación. Se calcula que las importaciones para la campaña 1975-1976 se elevarán a 1,7 millones de toneladas, aproximadamente, que, en su gran mayoría, volverán a ser de maíz.

En México la fijación de los precios constituye un poderoso instrumento para incrementar o limitar el volumen de las cosechas de ciertos productos agrícolas. Con objeto de estimular la producción de alimentos básicos de origen agrícola y de asegurar el autoabastecimiento del país, los precios oficiales subieron notablemente en 1974. Esta política contrasta de modo extraordinario con la seguida durante el período 1968-1972, durante el cual el incremento medio anual de los precios fue de sólo el 3 por ciento. En 1975 volvieron a elevarse aún más los precios oficiales del maíz, trigo y sorgo.

Aunque la mayoría de los agricultores no perciben los precios oficiales, los que obtienen realmente resultan influidos por aquéllos y también han experimentado una fuerte subida. Los costes de los factores de producción han aumentado asimismo considerablemente, pero no tanto como los precios de venta de los cereales. El coste de los abonos, que constituyen uno de los principales elementos del conjunto de prácticas de mejora agrícola aconsejadas, sólo ha crecido 12 por ciento. Actualmente, la proporción entre el coste de los factores de la producción y el precio de obtención de los alimentos básicos de origen agrícola es sumamente favorable. Según los precios vigentes, sólo se necesitan tres kilogramos de maíz o de trigo para pagar un kilogramo de nitrógeno. Por cada kilogramo de nitrógeno aplicado, al coste de unos cuatro pesos y medio, se puede obtener, según estimaciones prudentes, un promedio de 10 kilogramos de cereales, valorados en 15 pesos. En las tierras de regadío, así como en las de secano con un régimen regular de lluvias, un kilogramo de nitrógeno puede proporcionar hasta 30 kilogramos de cereales. Hoy en día, pues, la producción de alimentos de origen agrícola puede ser muy rentable, a pesar de los importantes aumentos experimentados en los costes de la mano de obra, los combustibles, la maquinaria agrícola y los transportes.

En México, el consumo de abonos aumentó a un ritmo del 12 por ciento anual durante la década de los sesenta. En el transcurso de este mismo período, el consumo de nitrógeno se triplicó con creces, pasando de 118.000 toneladas en 1960 a 380.000 en 1970. Asimismo, el consumo de fósforo (en forma de fosfatos) pasó de 43.000 toneladas en 1960 a 115.000 en 1970, lo cual equivale a un incremento del 270 por ciento. Esta acusada tendencia al aumento se ha mantenido: en 1974 se consumieron 551.000 toneladas de nitrógeno y 183.000 toneladas de fósforo. Dado que México se autoabastece de petróleo, actualmente la mayor parte del nitrógeno es de producción nacional.

La investigación científica representó un papel importante en la rápida aceleración de la producción cerealista durante la primera fase de la revolución mexicana. Un panameño, Nicolás Ardito Barletti, ha intentado valorar los beneficios sociales producidos por la investigación y por sus aplicaciones durante los años del gran auge. Según sus cálculos, la inversión realizada a partir de 1945 en todo tipo de investigaciones proporcionaba dividendos del 300 por ciento anual en 1965. Las inversiones en investigaciones, sobre el trigo solamente, daban unos dividendos del 700 por ciento anual. Aunque estos intereses tan elevados se debían en parte al hecho de que en 1945, cuando empezó todo, la situación agrícola que se trataba de mejorar era primitiva, e incluso en los sectores más dinámicos, es evidente que la investigación desempeñó un papel decisivo en la obtención de tales beneficios.

En la actualidad, la investigación agrícola está encomendada al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, fundado en 1960. El Instituto, cuya sede central se halla en Chapingo, posee ocho estaciones regionales de investigación, situadas en diferentes puntos del país. Todas las estaciones están bien equipadas desde el punto de vista material, pero, por desgracia, al alcanzar el equilibrio entre la oferta y la demanda de los productos alimenticios básicos y al surgir problemas de excedentes en los años sesenta, la situación perdió su carácter de

urgencia y, a consecuencia de ello, disminuyó la actividad de muchas de las estaciones. Así, los agrónomos más competentes de México, debido a los bajos salarios que percibían y a la falta de oportunidades profesionales, fueron dispersándose, pasando a ocupar cargos administrativos y a dedicarse a otras actividades mejor remuneradas mientras les sustituían personas más jóvenes y menos experimentadas. Faltando los dirigentes, estos jóvenes investigadores aunque muy capacitados, han sufrido los inconvenientes de no tener a su lado a personas más experimentadas, como las que antes les guiaban y aconsejaban. Por todo ello, la investigación ha tendido a paralizarse en muchos campos (aunque no en lo que se refiere al trigo, cuyas investigaciones están financiadas en gran parte por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). La falta de un programa dinámico de investigación aplicada y la inexistencia de un buen sistema de capacitación del agricultor han constituido los principales factores que han impedido la difusión de las modernas técnicas entre un mayor número de agricultores.

En los últimos años, la enseñanza técnica se ha desarrollado considerablemente. México cuenta en la actualidad con siete escuelas de agricultura a nivel del primer ciclo de enseñanza superior, en dos de las cuales se pueden seguir estudios para la obtención de un título universitario. En 1974, se licenciaron 188 estudiantes en botánica, entomología, fitopatología, genética, mejoramiento de suelos, técnicas de regadío, economía agraria y desarrollo rural. Se trata de un buen comienzo, pero se necesitarán todavía muchas más personas que posean conocimientos fundamentales de las ciencias básicas y de las técnicas de desarrollo rural.

Desde 1970 y con intención de fomentar la producción agrícola, las asignaciones de fondos públicos al sector agrícola se han incrementado en más del 700 por ciento. Se ha pasado (en dólares de 1970) desde 443 millones en 1970 a 3200 millones en 1975, lo que significa que el porcentaje del gasto público total dedicado a la agricultura ha aumentado notablemente del 7,6 al 20,1.

De estos incrementos, la Secretaría de Recursos Hidráulicos recibió 568 millones de dólares, es decir, alrededor de un 18 por ciento; las tres cuartas partes de esta cantidad se han destinado a realizar obras de regadío. Los presupuestos destinados a la investigación y a acelerar su aplicación práctica también han sido sustancialmente aumentados. En 1970 se creó un organismo autónomo, responsable de la extensión agrícola, que desde el año de su fundación ha crecido, tanto en presupuestos como en personal, a un ritmo anual del 49 por ciento. En 1970 se prestó asistencia técnica a 604.000 hectáreas de tierras cultivadas; en 1974 esta cifra se había convertido en 2,9 millones de hectáreas. El número de agentes de asistencia técnica se incrementó a una tasa anual del 42 por ciento, hasta llegar a 3352 en 1975. Sin embargo, por el momento, el rendimiento que se ha conseguido de este aumento de las inversiones en asistencia técnica ha sido decepcionante, debido sobre todo a la falta de personal capacitado.

LAS DIMENSIONES DE LA TAREA A REALIZAR si México desea evitar en el futuro cuantiosas importaciones de alimentos, se reflejan mediante estas tres columnas indicadas en el gráfico, que permiten comparar las cantidades de cinco alimentos básicos de origen agrícola producidas y consumidas en México durante el año 1975, con las cantidades de los mismos productos que se necesitarán en 1995, suponiendo que la población siga creciendo al ritmo actual. Según el autor, México cuenta con los recursos hídricos y las tierras cultivables suficientes para satisfacer sus propias necesidades en lo que respecta a la alimentación durante los 30 años próximos.

El precedente análisis sobre la situación actual de la agricultura mexicana ha colocado, sin duda, en primer plano, varios hechos que tienen referencia con una ulterior aceleración de la producción de alimentos en México. Destaca, en primer lugar, la naturaleza dual de la agricultura mexicana: a un lado, un reducido sector moderno y avanzado que proporciona la mayor parte de los productos agrícolas comercializados; al otro, un amplio sector agrícola semicomercial y de subsistencia, mucho menos productivo, dedicado principalmente a obtener los alimentos necesarios para dar de comer a los agricultores y sus fa-

milias. Existe, en segundo lugar, el problema de la escasez y la irregularidad en el suministro del agua necesaria para los cultivos en las principales áreas agrícolas. En tercer lugar, se registra un hecho positivo: el esfuerzo denodado que realiza la administración pública para conseguir que la producción de alimentos vuelva a experimentar un alza.

La tarea que se presenta es formidable. Si se desea volver a equilibrar la producción de cereales con la demanda, es necesario que la tasa de incremento se aproxime al 5 por ciento anual durante el próximo decenio. Aunque es posible aumentar la producción del sector moderno, que cuenta con más del 70 por ciento de los actuales regadíos, mediante la adopción de sistemas de cultivo más intensivos y un aprovechamiento más eficaz de las lluvias estacionales y del agua de regadío, el potencial de crecimiento inmediato más importante en la producción de alimentos reside en el gran sector de la agricultura tradicional situado en áreas de pluviosidad elevada. En la actualidad, dicho sector sólo produce una pequeña parte de lo que podría conseguir con una aplicación generalizada de las técnicas modernas.

A pesar del hecho de que se necesitará una mayor producción de frijoles, arroz y sorgo, la principal preocupación tiene que ser aún el maíz. El grado de autosuficiencia de México, en cuanto a la producción de alimentos, dependerá de la tasa de incremento de la producción de este cereal. De acuerdo con los cálculos más afinados que son posibles con las estadísticas disponibles, el área que se planta cada año con maíz oscila en la actualidad entre los seis y los ocho millones de hectáreas. De esta superficie total, unas 620.000 hectáreas, equivalentes al 10 por ciento aproximadamente, son tierras de regadío total o parcial. El resto son tierras de secano, cultivadas en su mayoría por agricultores pertenecientes al sector semicomercial.

Basándose en estimaciones realizadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, se pueden comparar las cantidades de maíz cosechado en suelos profundos y superficiales bajo cinco regímenes pluviométricos distintos, con los que se podrían producir bajo cada uno de estos regímenes con ayuda de las técnicas modernas *(véase la ilustración de esta página y sig.)*. Partiendo de estos estudios se llega a la conclusión de que la aplicación del conjunto de técnicas recomendadas, en su forma actual, no es viable económicamente bajo regímenes que presenten una pluviosidad anual inferior a los 700 milímetros y una probabilidad de sequía de más del 35 por ciento. Así pues, el incremento potencial de la producción de maíz se halla limitado prácticamente a las áreas más húmedas.

Según estos datos, es evidente que la actual producción anual de 6.739.000 toneladas de maíz, obtenida en las áreas de mayor pluviosidad, podría elevarse hasta más de 25 millones de toneladas –casi cuatro veces más– mediante un aprovechamiento más completo de las técnicas actualmente disponibles. Es una posibilidad estimulante que, de llevarse a cabo, no sólo podría asegurar el autoabastecimiento de México en maíz durante los próximos veinte años, sino que proporcionaría también un sustancial aumento de los ingresos de una parte importante de los agricultores pertenecientes a los sectores semicomercial y de subsistencia. En estas áreas, si se mantiene la actual relación coste/precio, los agricultores podrían obtener unos beneficios del 100 por ciento de las inversiones en abonos, en años buenos. Es posible, incluso, que el actual "lote" de técnicas, algo modificado, pudiera extenderse a algunas de las áreas de menor pluviosidad, con lo que se acrecentaría aún más. la producción potencial de maíz.

El considerable aumento de la cifra de hectáreas en las proyecciones para las áreas más húmedas, se basa en el supuesto de que la costumbre actual de dejar en barbecho a buenas tierras de cultivo, para que recuperen la fertilidad, desaparecerá completamente con la aplicación generalizada de fertilizantes químicos. Puesto que los frijoles se cultivan normalmente asociados con el maíz, existe la posibilidad de que las cosechas más abundantes de ese producto que se necesitarán en 1995 puedan obtenerse también en las áreas de mayor pluviosidad, con ayuda de las técnicas avanzadas.

Para poder sacar el máximo partido a unas posibilidades tan enormes, será necesario superar muchos obstáculos. Habrá que investigar más a fondo en las propias explotaciones agrícolas, con el fin de determinar con exactitud las necesidades en cuanto a fertilizantes y encontrar las faenas más económicas para cada una de las distintas situaciones ecológicas favorables al cultivo del maíz y los frijoles. Esta tarea debe completarse con estudios de economía agrícola y de ciencias sociales, destinados a comprender mejor los problemas con que se enfrenta el agricultor tradicional y los intereses que le mueven. Además, será preciso idear, en cada comunidad, los procedimientos adecuados para conseguir que un gran número de agricultores de los sectores semicomercial y de subsistencia, en principio poco interesados en ello, adopten rápidamente las nuevas técnicas productivas. Los sistemas clásicos, que tan eficaces han demostrado ser para difundir las técnicas modernas entre los agricultores más avanzados, no servirían en los sectores semicomercial y de subsistencia más conservadores.

Estos agricultores necesitan una ayuda más directa en la comercialización de sus operaciones. Hay que comprender mejor sus problemas e inquietudes; hay que procurar que modifiquen su actitud de recelo ante el cambio y para ello es necesario crear nuevos incentivos, que les ayuden a vencer su temor. Deberán desarrollarse sistemas más perfeccionados para facilitarles créditos. Tendrán que resolverse muchos problemas planteados por la distribución de los fertilizantes y demás factores materiales de la producción y habrá que construir nuevas instalaciones de almacenamiento y comercialización.

No es probable que esos obstáculos puedan vencerse si previamente no se cuenta con un nutrido cuadro de agentes de fomento rural, perfectamente apoyados e imbuidos de la importancia de la producción, que comprendan los problemas planteados y tengan experiencia en los métodos que hay que seguir para resolverlos. Esos agentes deberán estar dispuestos a trabajar al lado del pequeño agricultor, ayudándole a incrementar su producción y sus ingresos, colaborando en la mejora de las condiciones de vida de él y de su familia, para que no se vea forzado a emigrar a las ciudades, bastante superpobladas ya, en busca de nuevas oportunidades. Una vez que los nuevos agentes estén trabajando en los campos y el deseo de producir más y vivir mejor haya calado hondamente en el sector agrícola tradicional, la demanda de créditos, de factores materiales de la producción, de nuevas instalaciones de almacenamiento y de comercialización, allanará las numerosas dificultades con que tropieza en la actualidad el suministro eficiente de todos esos elementos.

Gracias a la visión de un reducido grupo de investigadores de la Escuela Nacional de Agricultura de Chapingo y del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, instalado en sus cerca-

nías, en 1967 se estableció un programa piloto para el desarrollo, la comprobación y la aplicación de los métodos de acelerar la producción de maíz y el progreso socioeconómico del sector semicomercial y de subsistencia en una área de tierras de secano, del estado de Puebla. Este proyecto, que ha conocido un éxito completo, ha permitido detectar con claridad los problemas y las limitaciones con que se enfrenta el agricultor de la región y ha ensayado varios métodos eficaces para solucionarlos. El éxito de este proyecto de investigación contribuirá, sin duda, de una manera importante, a acelerar el amplio programa de inversiones para el desarrollo rural que ha puesto en marcha recientemente el gobierno mexicano.

El proyecto de Puebla ha demostrado que el pequeño agricultor que cultiva tierras de secano puede obtener beneficios económicos con la aplicación de las técnicas modernas. Sin embargo, aunque las técnicas más productivas han demostrado con creces su utilidad, su adopción generalizada tropieza con la importante limitación que representa el peligro de las pérdidas ocasionadas por la sequía, el pedrisco, las heladas intempestivas y las inundaciones. Para resarcir a los pequeños agricultores de estas pérdidas, la administración pública ha creado un eficaz sistema de seguros que, en 1973, cubría 1,9 millones de hectáreas y, en 1974, sólo un año después, 2,6 millones, con un aumento del 36 por ciento.

El desarrollo de regadíos complementarios con la utilización de pozos entubados, otra de las soluciones que estudia la Secretaría de Recursos Hidráulicos, contribuiría más positivamente aún a la rápida difusión de las nuevas técnicas en tierras de secano. Los beneficios que podría proporcionar este sistema parecen mucho más importante que los que se obtendrían con las construcciones de nuevas obras de regadío a gran escala. Allí donde fueran viables los regadíos complementarios, podrían desaparecer los riesgos de los bajos rendimientos y de la pérdida de cosechas ocasionadas por la sequía. En esas áreas, los regadíos complementarios no sólo permitirían que el agricultor obtuviera unos beneficios sustanciales de las inversiones dedicadas a abonos, semillas seleccionadas, insecticidas y mano de obra adicional, sino que además aportarían cantidades considerables de cereales a la producción nacional. A medida que se han ido generalizando las técnicas modernas a través del proyecto de Puebla, la demanda de pozos entubados ha crecido considerablemente y se han instalado numerosos pozos comunales.

Los regadíos complementarios eliminarían muchos de los riesgos que plantean los años secos en las zonas húmedas. Además, podrían permitir la difusión de las modernas técnicas de producción a ciertas áreas de pluviosidad menor. En caso contrario, no es probable que los tres escasos millones de hectáreas, repartidos en zonas marginales de pluviosidad baja y que en la actualidad se plantan cada año con maíz, puedan aportar una contribución importante al incremento de la producción comercial de este cereal, por lo menos en un futuro próximo. En opinión de muchos, esta vasta extensión debería dedicarse gradualmente a otros cultivos tales como el sorgo y el mijo, o bien a pastos que, según se considera en general, están mejor adaptados a una pluviosidad escasa e irregular. Sin embargo, queda el hecho de que el maíz es el principal cultivo de subsistencia de la población residente en esa zona, y no es probable que sustituya el maíz por otro producto en su dieta alimentaria. Aunque, en su caso, el actual conjunto de técnicas de mejora no es económicamente viable, se podrían poner a punto nuevas técnicas, basadas en el cultivo de nuevas variedades de maíz temprano, de gran rendimiento, resistente a la sequía, en combinación con pequeñas cantidades de abonos químicos y con procedimientos de conservación de la humedad. De este modo, dichas técnicas podrían resultar muy rentables durante un período de diez años, por ejemplo. Se trata de una posibilidad que no ha sido prácticamente abordada por los investigadores.

El mismo tiempo que se realiza un esfuerzo especial por incrementar la producción de maíz en tierras de secano, debe intensificarse la investigación sobre los procedimientos de aumentar aún más la productividad de los regadíos. En las áreas sin peligro de heladas, debería ser posible conseguir tres o cuatro cosechas al año de donde actualmente sólo se obtienen dos. En las áreas susceptibles de sufrir heladas, el trigo constituye un excelente cultivo de invierno. En la actualidad, los rendimientos medios de trigo son de unos 3600 kilogramos por hectárea: que, con facilidad, se podrían elevar a 6000 o 7000 kilogramos. Algunos agricultores obtienen ya 6000 kilogramos por hectárea y en las estaciones experimentales, utilizando las nuevas variedades, se consiguen rendimientos de hasta 10.000 kilogramos.

Se hallan en curso actualmente diversos estudios para evaluar la posibilidad de construir sistemas de control del agua en las tierras bajas tropicales, muy lluviosas, del sudeste de México. Mediante una adecuada preparación, se podrían poner en cultivo casi inmediatamente unas 150.000 hectáreas de nuevas tierras, utilizando procedimientos de rotación continua anual de cultivos. Durante el próximo decenio se les podrían sumar tres millones de hectáreas más. Aunque esto representaría un esfuerzo muy costoso, de hecho ampliaría enormemente las posibilidades de la producción de alimentos. El cultivo del arroz, por ejemplo, podría trasladarse desde las tierras de regadío de las áridas planicies costeras del Pacífico hasta las tierras bajas del litoral del Golfo. También la caña de azúcar, adaptada igualmente a los climas húmedos, podría pasar del noroeste, en el Pacífico, al sudeste, liberando con ello miles de hectáreas para el cultivo intensivo de especies más adecuadas a los climas secos. Recurriendo a procedimientos de control sobre el exceso de humedad, el maíz constituiría asimismo un cultivo excelente en el sudeste, durante la estación lluviosa.

Para convertir en una realidad estas posibilidades, es necesario efectuar, previamente, investigaciones completas sobre los sistemas de cultivo y de conser-

REGIMEN PLUVIOMETRICO	PROBABILIDAD DE SEQUIA (PORCENTAJE)	SUELO
REGADIO	0	PROFUNDO SUPERFICIAL
800 a 900 MILIMETROS	20	PROFUNDO SUPERFICIAL
700 A 800 MILIMETROS	35	PROFUNDO SUPERFICIAL
600 A 700 MILIMETROS	45	PROFUNDO SUPERFICIAL
< 600 MILIMETROS	60	—

LAS POSIBILIDADES de aumentar la producción de maíz de México se representan aquí mediante incrementos, de distintos colores, de cada una de las barras del diagrama; lo que permite comparar las cantidades de maíz cosechado actualmente en suelos profundos y su-

vación de suelos. En condiciones de pluviosidad abundante, las tierras buenas pierden rápidamente su productividad, a menos que se utilicen sistemas especiales de cultivo y conservación. A este respecto, pueden representar una gran ayuda para los agrónomos mexicanos las experiencias realizadas por el Instituto Internacional de Agricultura Tropical en los bosques lluviosos de Nigeria, así como por los institutos de investigaciones tropicales de otros países.

Si se mantiene la tasa actual de crecimiento de la población y se desean evitar cuantiosas importaciones, México deberá incrementar su producción de cereales básicos desde 16 millones de toneladas al año hasta 37 millones en 1995. En la Administración Pública existe el firme propósito de conseguir este aumento de la producción y, por otra parte, el país posee tierras agrícolas y recursos hídricos que, con un mejor aprovechamiento, le permitirían alcanzar ese objetivo. Así pues, México se halla en una magnífica situación para satisfacer sus propias necesidades alimentarias durante los próximos treinta años. El desarrollo de este potencial incrementará considerablemente, por una parte, los recursos alimentarios del país, y proporcionará además grandes oportunidades para dar trabajo mejor remunerado a muchas personas actualmente subempleadas.

Muchos de los elementos esenciales para que se produzca en México una segunda revolución agrícola están ya presentes. Los puestos claves de la Secretaría de Agricultura se hallan ocupados por funcionarios competentes y entusiastas, que adquirieron una considerable experiencia práctica durante el primer período de auge agrícola. Todos ellos poseen una excelente preparación académica respecto a las ciencias agrícolas básicas. Muchos investigadores, igualmente experimentados y capacitados, que participaron en la primera revolución productiva, enseñan actualmente en la citada Escuela de Chapingo y en otras importantes escuelas de agricultura distribuidas por todo el país. De momento, la Administración Pública ya ha conseguido aumentar sustancialmente la capacidad nacional de producción de abonos; ha establecido un sistema de precios sumamente favorable a la aplicación de las modernas técnicas de producción; y ha incrementado los fondos oficiales disponibles para el desarrollo general de la agricultura.

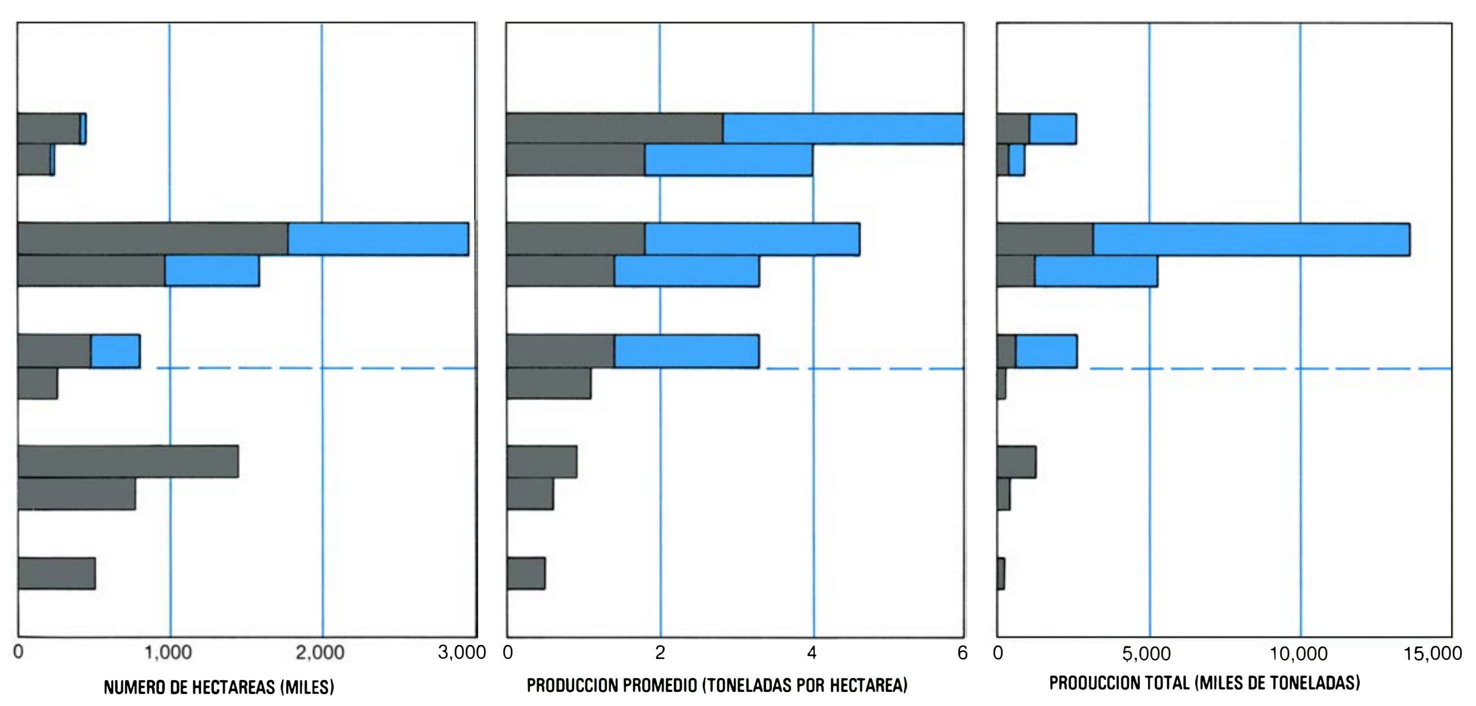
Lograr que aumente la producción de las tierras de secano del sector tradicional será mucho más difícil de lo que supuso incrementar la producción del sector moderno durante los años del gran auge.

Para alcanzar el éxito en esta tarea será necesario: 1) definir con mayor exactitud las técnicas de producción, altamente rentables más apropiadas para cada una de las numerosas regiones ecológicas, muy distintas entre sí; 2) encontrar los métodos más eficaces para conseguir la adopción generalizada de esas técnicas; 3) formar un equipo interdisciplinario, numeroso y experimentado, compuesto de expertos dispuestos a trabajar en estrecho contacto con los agricultores, instruyéndoles y animándoles a alcanzar unos niveles de productividad más altos.

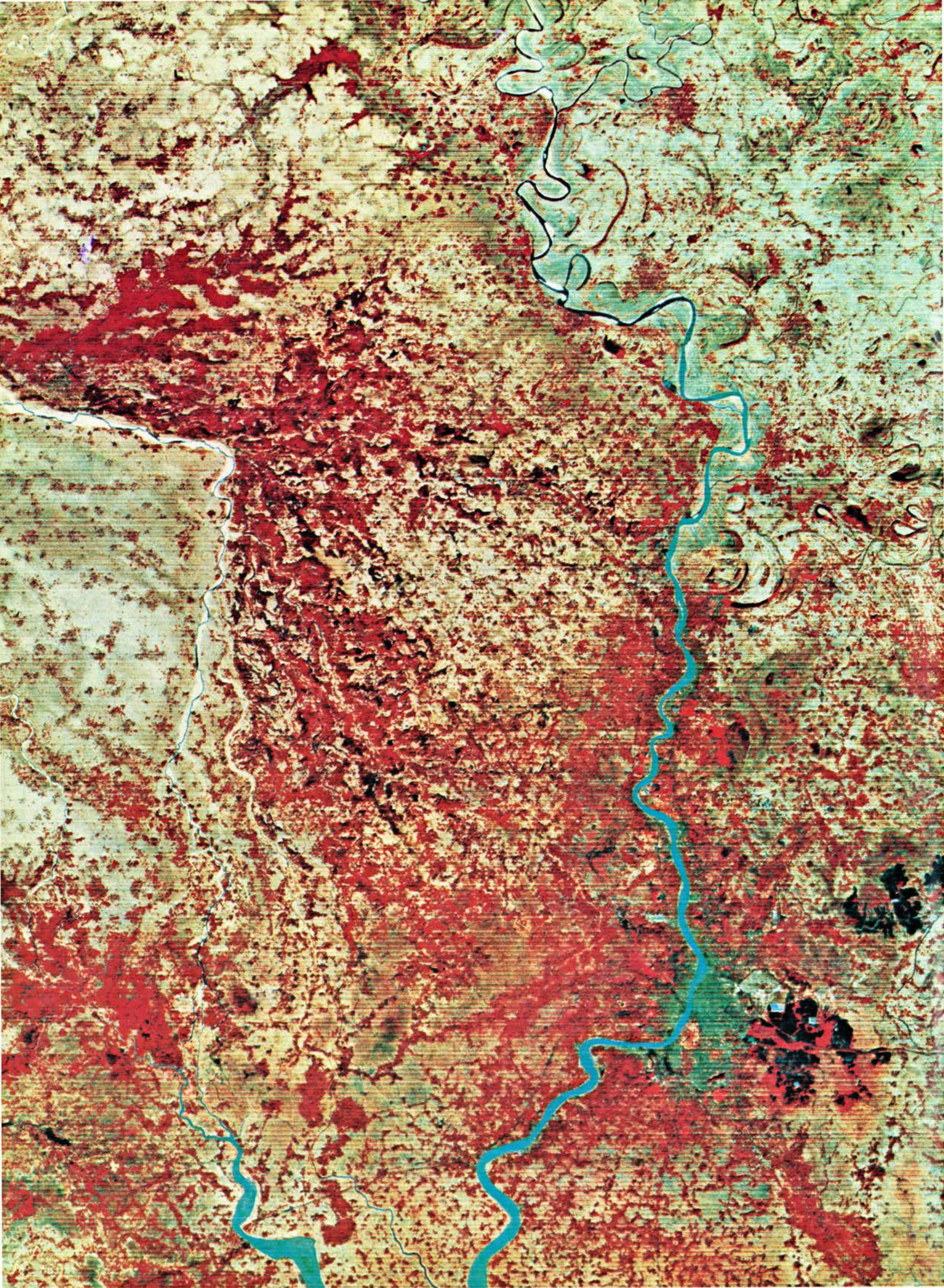
Para conseguir que el sector moderno doble su producción en los dos próximos decenios, habrá que poner a punto unos patrones de cultivo más intensivos y será necesario aumentar los rendimientos de todas las especies.

Lógicamente, todo eso obligará a perfeccionar las investigaciones. El aumento de producción del Sudeste no se producirá solamente con el control del agua; los agrónomos han de descubrir la manera de incrementar la productividad de las nuevas tierras de cultivo a pesar de las lluvias torrenciales y de los vientos huracanados.

Seguidamente, éstos, habrán de enseñar las nuevas técnicas a los agricultores, de quienes dependerá, en definitiva, que crezca la producción de alimentos para el consumo del país.



perficiales, bajo cinco regímenes pluviométricos distintos, con las que se podrían producir bajo cada uno de estos regímenes con ayuda de las técnicas modernas (según cálculos del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, con sede cerca de la ciudad de México). De estas estadísticas se concluye que la aplicación del conjunto de prácticas agrícolas recomendadas oficialmente sería viable, desde el punto de vista económico, para los agricultores de las zonas con pluviosidad anual superior a los 700 milímetros y con una probabilidad de sequía de menos del 35 por ciento; este umbral se indica mediante una línea horizontal de trazos discontinuos *(en color)* superpuesta al diagrama aquí representado. En este caso, la producción de maíz podría triplicarse aproximadamente, hasta sobrepasar los 27 millones de toneladas.



La agricultura de la India

El país ha resuelto el problema alimentario mucho mejor de lo que suponen la mayoría de los observadores. Aumentar la producción agrícola, quizá obligue a una difícil elección entre agricultura o industria

John W. Mellor

Contrariamente a lo que afirman los tópicos al uso, la India ha incrementado la producción de cereales para el consumo humano en aproximadamente un 2,8 por ciento anual desde 1950 hasta hoy, tasa significativamente superior a la del crecimiento de la población, que ha sido de un 2,1 por ciento para el mismo período. El resultado ha sido una modesta mejora en la dieta alimentaria y una disminución sustancial de los índices de mortalidad. Esto contrasta fuertemente con la situación reinante durante las últimas décadas del período colonial, anterior a 1947, cuando la producción cereal se hallaba virtualmente estancada, con una tasa de crecimiento anual insignificante, del 0,11 por ciento, mientras la población aumentaba a razón del 1,5 por ciento al año. Durante las últimas décadas del colonialismo, la capacidad de la India para alimentarse a sí misma se deterioró rápidamente a consecuencia del esfuerzo realizado para proporcionar los excedentes exportables que se esperaban de una colonia. El resultado de todo ello fue no sólo un problema alimentario y de bienestar social de gravedad creciente, sino también una herencia de pobreza y de instituciones inadecuadas para el desarrollo. Ambos factores obstaculizaron el crecimiento durante varias décadas.

En comparación con China, otro país inmenso de bajos ingresos, la India ha conseguido una tasa de crecimiento algo superior en la producción de cereales para el consumo humano, si bien partía de un nivel bastante inferior en cuanto a rendimientos medios y a la proporción de la superficie agrícola puesta en regadío. Las comparaciones exactas entre ambos países son difíciles de hacer, dado que las bajas en la producción atribuibles a las malas condiciones meteorológicas o a la inestabilidad política, no se han producido en años coincidentes y también por el hecho de que son distintos los sistemas de elaboración de estadísticas. Con la salvedad de estas dificultades, la tendencia del crecimiento a largo plazo de la producción cereal china desde 1950 se calcula en un 2 por ciento, inferior al 2,8 por ciento correspondiente a la India.

La India tiene 600 millones de habitantes (dos tercios de la población china y casi tres veces la de los Estados Unidos), es el cuarto productor mundial de cereales y el incremento potencial de su producción cereal es uno de los más importantes del planeta. Por el lugar privilegiado que ocupa la India en la situación alimentaria mundial, es de la mayor importancia que los tópicos en circulación sobre la economía alimentaria hindú dejen paso al análisis estricto de las tendencias pasadas, de la naturaleza del potencial futuro y de los rasgos esenciales de la orientación adecuada en materia política y de inversiones. Las bases de los tópicos citados son cuatro y explican, en gran parte por sí mismas, la naturaleza de los problemas y de las necesidades de la India en el campo de la alimentación.

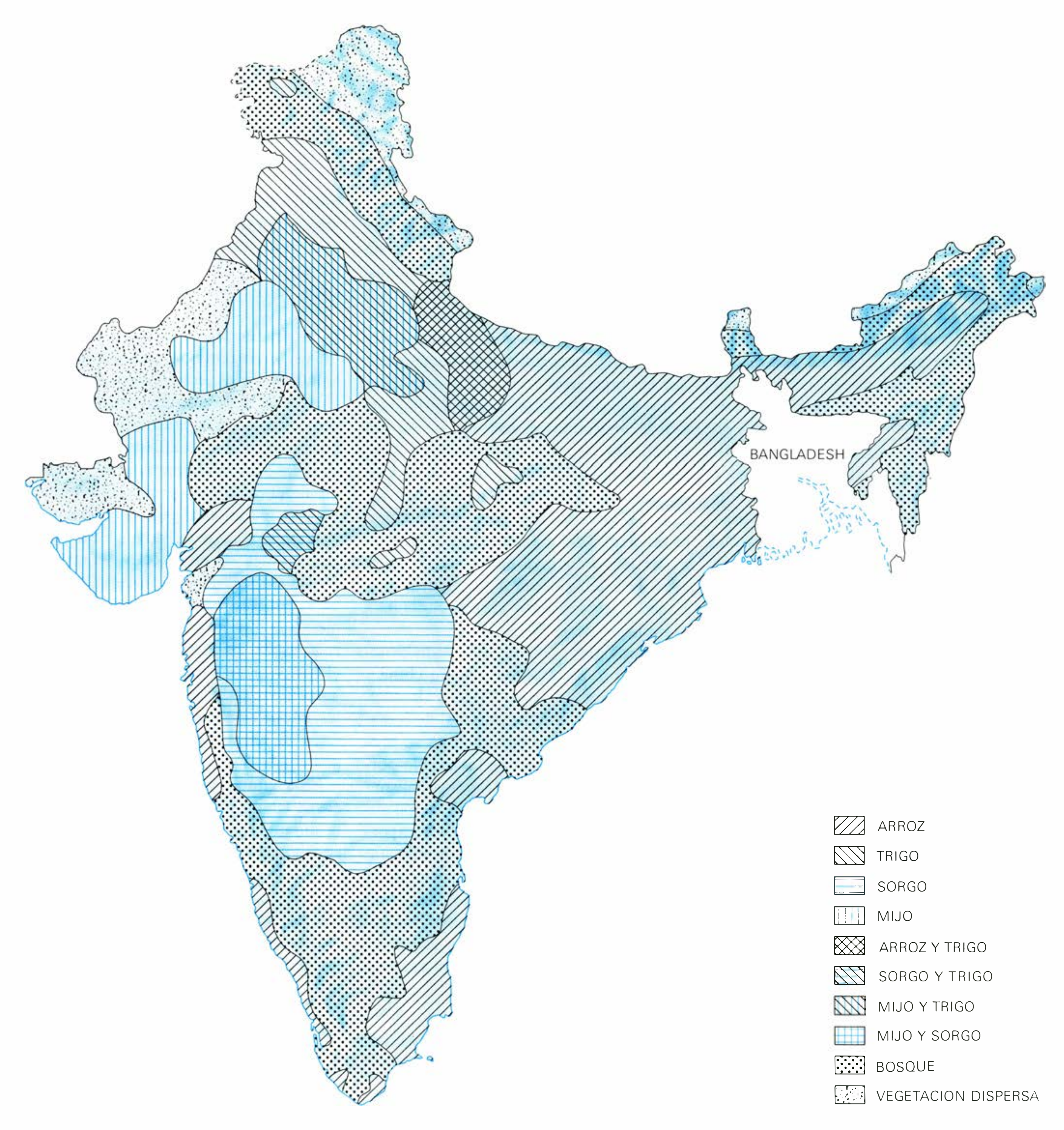
En primer lugar, la India experimenta importantes fluctuaciones interanuales en las condiciones meteorológicas y en el pasado ha mostrado la tendencia a mitigar las consiguientes deficiencias de abastecimiento de alimentos mediante importaciones, y no mediante un almacenamiento propio, más costoso. De este modo, en el período subsiguiente a la independencia, aunque ha habido importantes fluctuaciones interanuales en las importaciones de cereales, no se ha registrado ninguna tendencia de aumento o disminución de la importancia relativa de las mismas. A este respecto, el historial de China muestra una semejanza sorprendente, tanto en la escala de las importaciones como en la prioridad dada al abastecimiento de las ciudades principales.

En segundo lugar, la India, a diferencia de China, ha conservado los lazos que la unían a los países desarrollados y por consiguiente ha utilizado con preferencia para las importaciones las ayudas oficiales, en lugar de los conductos comerciales, lo cual ha dado una publicidad desmesurada a sus periódicas insuficiencias internas. En tercer lugar –quizá la razón más importante–, en la India no se ha producido una honda revolución sociopolítica comparable a la de China y por lo tanto muestra una distribución de los ingresos personales parecida, en lo esencial, a la de los Estados Unidos. De ello resulta que en un país tan pobre, en conjunto, como la India postcolonial, existe un gran porcentaje de personas que incluso en tiempos normales no tienen ingresos suficientes para obtener alimentos a través de los sistemas de distribución

LA FINA TEXTURA DE PARCELAS, típica de la agricultura de la India, queda reflejada en esta vista, de color convencional, tomada por el LANDSAT sobre el estado de Bengala occidental. Allí, en opinión de muchos agrónomos, la productividad agrícola ha resultado perjudicada por el sistema de pequeños propietarios; cada uno de los cuales posee por lo común unas cuatro hectáreas de tierras de cultivo, cedidas en arrendamiento, a su vez, a tres o cuatro campesinos y a sus familias. La escala conjunta de esta vista, obtenida por el LANDSAT 2 desde unos 917 kilómetros el 25 de marzo de 1975, es la misma que la de las vistas de las configuraciones agrícolas norteamericanas y mexicanas reproducidas en las páginas 6, 86 y 96. A pesar de los resultados poco satisfactorios que da actualmente la fértil llanura gangética, esta región posee abundantes recursos en aguas subterráneas y se considera que tiene grandes posibilidades de crecimiento agrícola. La zona en azul claro situada abajo, a la derecha, es Calcuta, la capital de Bengala occidental. El gran río que atraviesa la gran ciudad es el Hooghly, que es el brazo más occidental del delta del Ganges.

comercial y que, cuando las cosechas se pierden, se hallan sujetas a una penuria extrema e incluso a hambrunas. El sistema político hindú, contrariamente al de China, no permite controlar suficientemente la producción mediante medidas coactivas para aliviar esta penuria.

En cuarto lugar, el desarrollo agrícola es en gran parte un proceso de cambio institucional, necesariamente lento. El mito sobre los mediocres resultados alcanzados por la India en la producción de alimentos obstaculiza el análisis de la amplitud con que están ocurriendo estos cambios y por ende el análisis de las bases para un futuro crecimiento. Además, falta una explicación teórica suficiente para poder analizar la experiencia hindú en materia de desarrollo agrícola, de una riqueza extraordinaria, que abarca desde el Programa de Desarrollo Comu-



LOS CUATRO PRINCIPALES CEREALES, a saber: arroz, trigo, sorgo y mijo se cultivan en distintas regiones de la India, a tenor del clima, suelo y costumbres locales. Alrededor del 40 por ciento de la superficie del país está dedicado a la agricultura, que proporciona casi la mitad del producto nacional bruto. En comparación, solamente un 20 por ciento de la superficie de los 48 estados continentales (excluido Alaska) de los Estados Unidos está cultivado. A pesar de ello, los Estados Unidos, con un tercio de la población de la India, poseen un tercio más de tierras cultivables que ésta, que sin embargo, puede regar la mayor parte de su tierra de cultivo, y así obtener dos y hasta tres cosechas al año. La superficie dedicada al cultivo del mijo y el sorgo (con otros cereales de menor importancia) supera a la que está plantada de arroz.

nitario al Programa de Distritos Agrícolas Intensivos y al Programa para Agricultores Pequeños y Marginales. Los tres ofrecen no sólo lecciones importantes para la solución de los problemas alimentarios mundiales sino que, además, han dado lugar a la formación gradual de unas instituciones nacionales de considerable madurez, al servicio del sector agrícola, cosa que por lo general no han entendido los asesores occidentales de los países en vías de desarrollo que se han ido desentendiendo del subcontinente.

En un país como la India, la agricultura tiene un peso determinante en la economía. Casi la mitad del producto nacional bruto procede de la agricultura; más de la mitad de todos los gastos de los consumidores se aplican a la alimentación. Cuando las cosechas son malas, los gastos totales de los consumidores descienden de manera importante y se registra un descenso aún más acusado en la inversión industrial. Está perfectamente demostrado que las personas de bajos ingresos se gastan en comida la mayor parte de cualquier aumento de sus ingresos personales. La lección está clara: toda estrategia de crecimiento que movilice la población de bajos ingresos con fines productivos, provocará una demanda en alimentos más crecida de lo que sería si se mantuviese a esa misma población desocupada o en empleos marginales.

Por otra parte, toda estrategia que dé preferencia al crecimiento de una industria pesada –intensa en capital– a expensas de la agricultura y de los bienes de consumo que no exige tantas inversiones, conjugará una producción agrícola estática con un incremento más lento de la demanda de alimentos. Dado que la industrialización basada en las inversiones intensivas beneficia, en cuanto a ingresos personales, a una menor parte de la población. Así pues, la política agrícola es mucho más que una carrera entre la producción de alimentos y el crecimiento de la población: determina fundamentalmente quién participará en el crecimiento económico de un país y quién no. Por consiguiente, la elección de una política determinada implica múltiples consideraciones.

No fue por accidente ni por ignorancia como la India adoptó a finales de la década de los cincuenta un plan que preveía una escasa participación de los pobres, daba poca importancia a la agricultura y sí mucha, en cambio, al crecimiento de la industria pesada. En aquellos años, los elementos esenciales de la "revolución verde" apenas si acababan de ser descubiertos por los investigadores agrónomos y no podían garantizar que las grandes inversiones en agricultura fuesen rentables.

Si bien es cierto que la India no se comprometió prioritariamente con el sector agrícola en las décadas de los cincuenta y los sesenta, en realidad el crecimiento fue aceptable, con desequilibrios regionales y una serie considerable de experimentos. El más interesante de ellos fue quizá el extenso Programa de Desarrollo Comunitario. Este programa, iniciado en 1952 en 25.000 aldeas, afectaba ya en 1961 a 500.000 núcleos de población, con 300 millones de personas y, a pesar de todas sus limitaciones, fue uno de los primeros del mundo en adoptar una visión integral del problema, tal como ahora está de moda entre quienes se dedican al desarrollo rural. La revolución verde consiguió sus éxitos más importantes en el Punjab, al noroeste del país, donde se alcanzaron tasas de crecimiento agrícola más altas que las de Taiwan, considerado a menudo como el ejemplo máximo de éxito agrícola. (Las cifras de población de Taiwan y el Punjab son muy parecidas.) Otras dos regiones de la India, una parte de Gujarat, en el oeste, y Andhra, en el sur, alcanzaron también cifras de producción agrícola sorprendentes, a pesar de poseer tradiciones culturales e institucionales completamente distintas. Pero también se hallan en la India Bihar, cuyas costumbres en materia de tenencia de la tierra obstaculizan el crecimiento de la producción, en Bengala occidental, donde coexisten grandes posibilidades agrícolas y unos logros mediocres, y en Madhya Pradesh, que comprende grandes extensiones territoriales poco aprovechables desde el punto de vista agrícola. Por supuesto, es difícil generalizar sobre la agricultura de un país cuyas regiones muestran una diversidad tan grande. Al mismo tiempo, esa diversidad proporciona magníficas oportunidades para establecer comparaciones y sacar provechosas lecciones.

El crecimiento de la producción cereal de la India en los dos decenios y medio que han transcurrido desde 1950 se puede dividir en tres períodos: una década de crecimiento acelerado, basado en técnicas tradicionales (1950-1960), un quinquenio de transición (1960-1965) y un período en que el aumento de la producción ha dependido cada vez más de la nueva tecnología. Los factores responsables de la aceleración radical de la producción de cereales desde la tasa del 0,11 por ciento de la época colonial hasta el índice del 2,8 por ciento de los años cincuenta son difíciles de identificar con exactitud. Parece fuera de duda que el súbito crecimiento no se debió a las inversiones en modernización. Es cierto que aumentó mucho la tasa de empleo de abonos, pero lo hizo partiendo de un nivel inicial prácticamente igual a cero. Probablemente, las nuevas variedades de plantas de cultivo no hicieron sino mantener los rendimientos ya existentes frente a los ataques de enfermedades como la roya de los cereales. Además, hay pocas pruebas de que el Programa de Desarrollo Comunitario, que acababa de crearse, tuviese una repercusión inmediata en la producción agrícola.

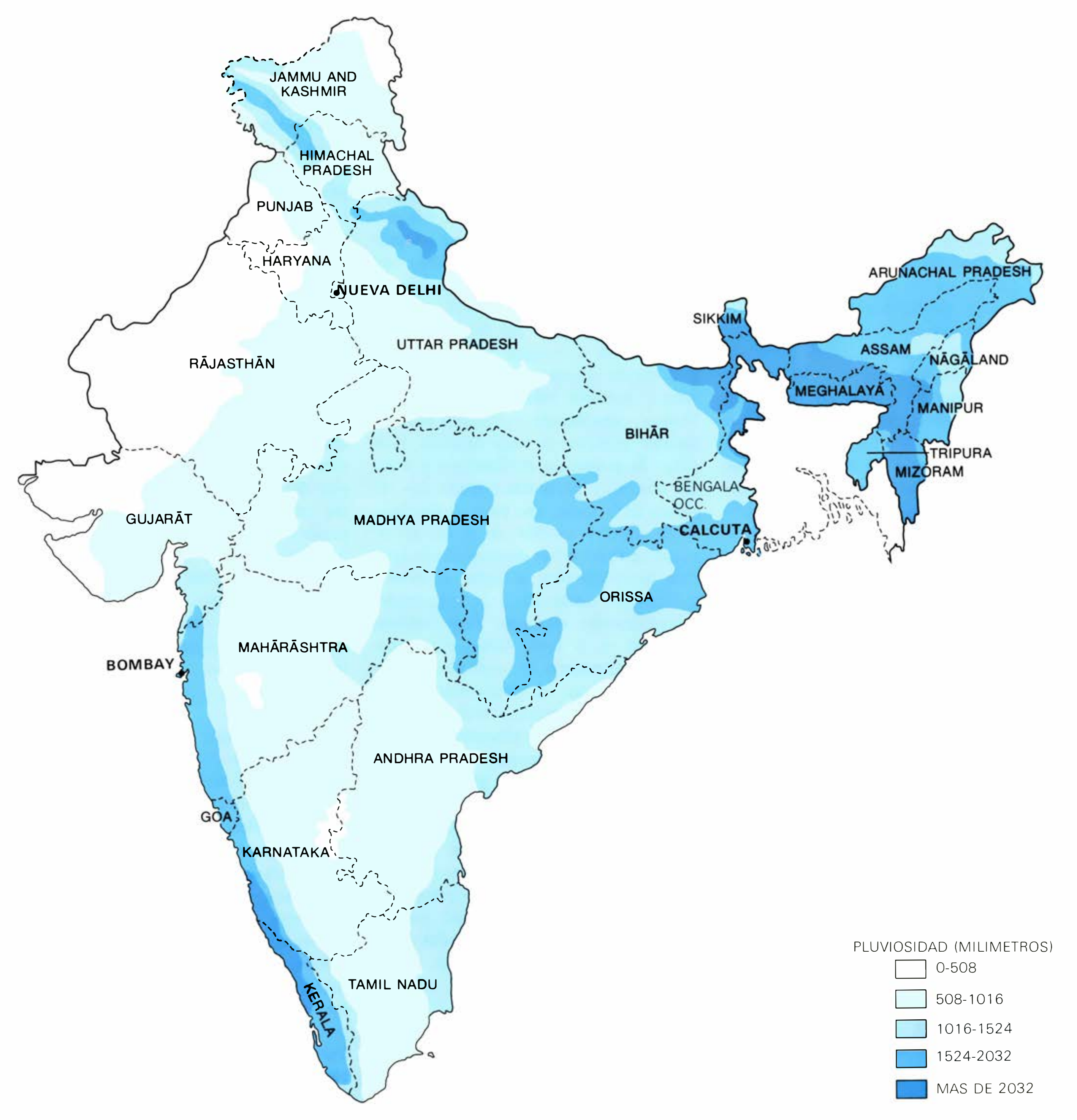
Un quinto del incremento de la producción se debió quizá al aumento de los regadíos, unos dos quintos al mayor empleo de la mano de obra, ligado al crecimiento de la población, y puede que un tercio simplemente a la roturación de nuevas tierras. Los dos últimos factores citados e incluso el primero se pueden atribuir en gran parte a las nuevas energías desencadenadas por la independencia nacional y al incentivo que ésta representó. Uno de los estímulos más importantes se cifró en las reformas que abolieron el sistema utilizado por los británicos para recaudar los impuestos sobre la tierra, basado en la concesión a un grupo privilegiado, cuyos componentes se habían convertido en propietarios virtuales de inmensos latifundios.

Los estimables resultados obtenidos por la India en la producción de cereales durante la década de los años cincuenta se deterioraron a comienzos de la década siguiente.

El índice de crecimiento anual (tras efectuar las correcciones necesarias para compensar la influencia de los factores meteorológicos) descendió al 2 por ciento, mientras que al mismo tiempo el aumento de la población se aceleraba hasta casi un 2,5 por ciento anual y los ingresos per cápita crecían a un ritmo jamás alcanzado con anterioridad. El aumento de los ingresos estaba provocado por una tasa de crecimiento industrial de casi el 10 por ciento anual. Así pues, a pesar del hecho de que durante este corto espacio de tiempo aumentó la ayuda alimentaria de los Estados Unidos, los precios de los cereales para el consumo humano subieron más aprisa que los precios de otros productos. En parte a

consecuencia de ello, quedó frenado el crecimiento de la industria. Esto último, sumado a la desastrosa sequía de 1965-1967 y a la disminución violenta de la ayuda extranjera, preparó las condiciones necesarias para una década de estancamiento económico global.

Incluso cuando estaba cediendo aún el ritmo de la producción cereal, los impulsos básicos responsables del crecimiento de la agricultura se apartaban paulatinamente de las fuerzas relacionadas con el fin del dominio colonial para centrarse en las que nacían de la nueva tecnología. La puesta en cultivo de nuevas tierras fue perdiendo significación, mientras que la adquiría cada vez más el empleo de abonos: a esto último se puede atribuir casi el 40 por ciento del aumento de la producción de cereales registrado en el período 1961-1965, muy



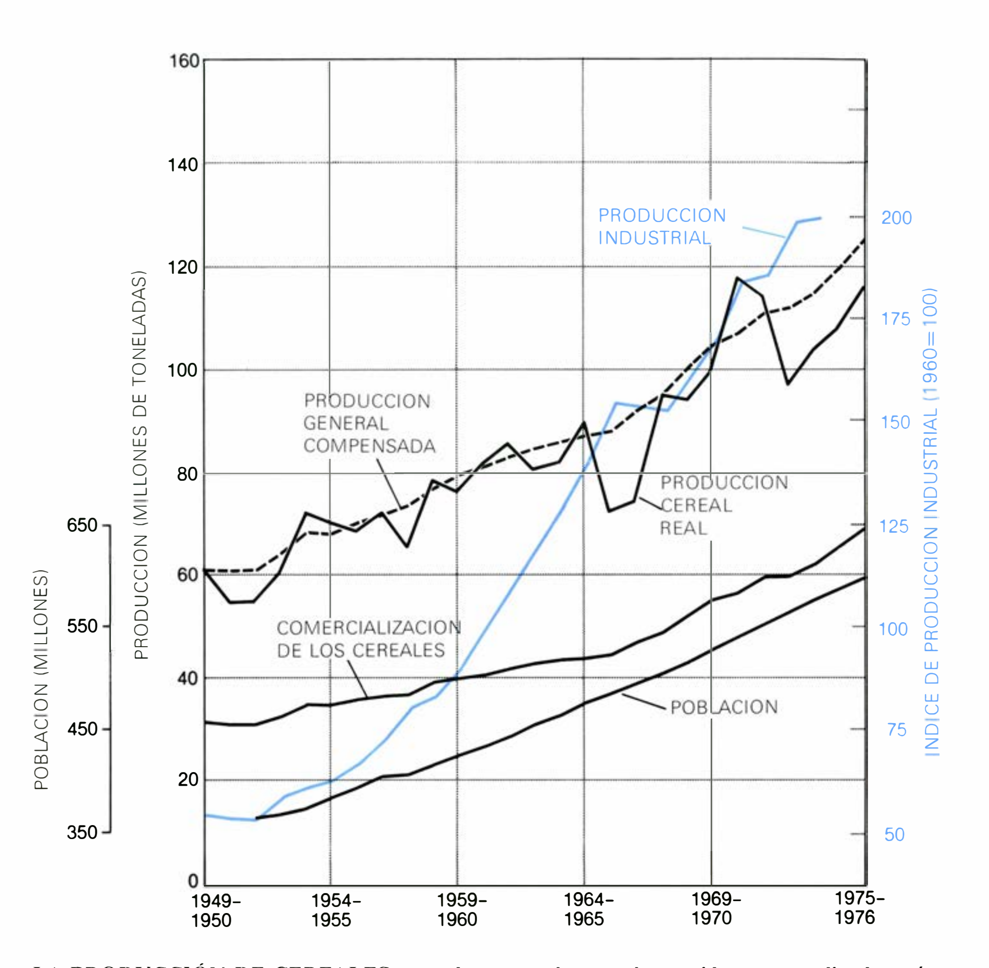
LA PLUVIOSIDAD constituye en la India, como en todas partes, uno de los factores determinantes de la selección de las plantas de cultivo y de las prácticas agrícolas. Las regiones que reciben entre 1016 y 2032 milímetros de agua de lluvia al año son favorables al cultivo del arroz *(véase al mapa anterior).* **En la mayor parte de la India, del 75 al 90 por ciento de las precipitaciones anuales se concentran en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, cuando predominan los vientos del monzón del sudoeste, cargados de humedad. Solamente en los extremos septentrional y meridional del país las precipitaciones se reparten uniformemente a lo largo del año. Uno de los problemas más importantes de la agricultura hindú consiste en la gestión de su agua y de la infraestructura de reparto de la misma, cuya red es extensa y está bien situada durante aquellos años en que el monzón no proporciona la cantidad más conveniente y necesaria para recoger varias cosechas.**

superior a aquél, de menos que un 10 por ciento, conseguido en la década anterior. Posteriormente, la adopción de nuevas variedades de cereales de gran rendimiento y de nuevos sistemas de cultivo incrementarían la capacidad de la agricultura hindú para absorber todavía más abonos, posibilitando con ello un mayor crecimiento en los años siguientes. Aunque la expresión "revolución verde" no era todavía de uso corriente en 1961-1965, la labor de base institucional para dicha revolución se realizó durante aquellos años.

Pero antes de que llegara la revolución verde y casi como si reclamara urgentemente su presencia, la sequía de 1965 hizo descender la producción de cereales en un 19 por ciento, equivalente a 19 millones de toneladas, anulando toda una década de crecimiento en la producción de cereales. Cuando la sequía se prolongó durante el año siguiente, agotadas las reservas de cereales, las penalidades fueron inmensas, a pesar de que los Estados Unidos enviaron suministros de cereales en cantidades equivalentes a casi el 15 por ciento de la disminuida producción hindú. Sólo la impresionante capacidad que demostró poseer el país para poner en funcionamiento los servicios de ayuda evitó un desastre de grandes proporciones.

Sería difícil exagerar la influencia de las irregularidades climáticas de la India, no sólo sobre la agricultura del país, sino también sobre la opinión que se forman los observadores exteriores acerca de la situación alimentaria mundial. En los años en que en la India las cosechas son buenas (1949-1950, 1954-1955, 1961-1962, 1964-1965, 1970-1971 y 1975-1976) la situación mundial parece excelente y se habla incluso de excedentes. Pero en los años de malas cosechas (1957-1958, 1965-1967 y 1972-1973) las perspectivas se ensombrecen y crece el ascendiente de los profetas apocalípticos.

La primera cosecha después de la sequía, la de 1968, significó un aumento de la producción del 28 por ciento en un solo año, un récord absoluto. Había llegado la revolución verde. La sola producción de trigo aumentó en cinco millones de toneladas y se multiplicaría por dos en los siete años siguientes, lo cual equivale a un crecimiento a una tasa media acumulativa anual del 10 por ciento. A mediados de la década de los setenta, más de la mitad de la superficie plantada con variedades "milagrosas" de trigo en los países menos desarrollados estaba dentro de las fronteras de la India.



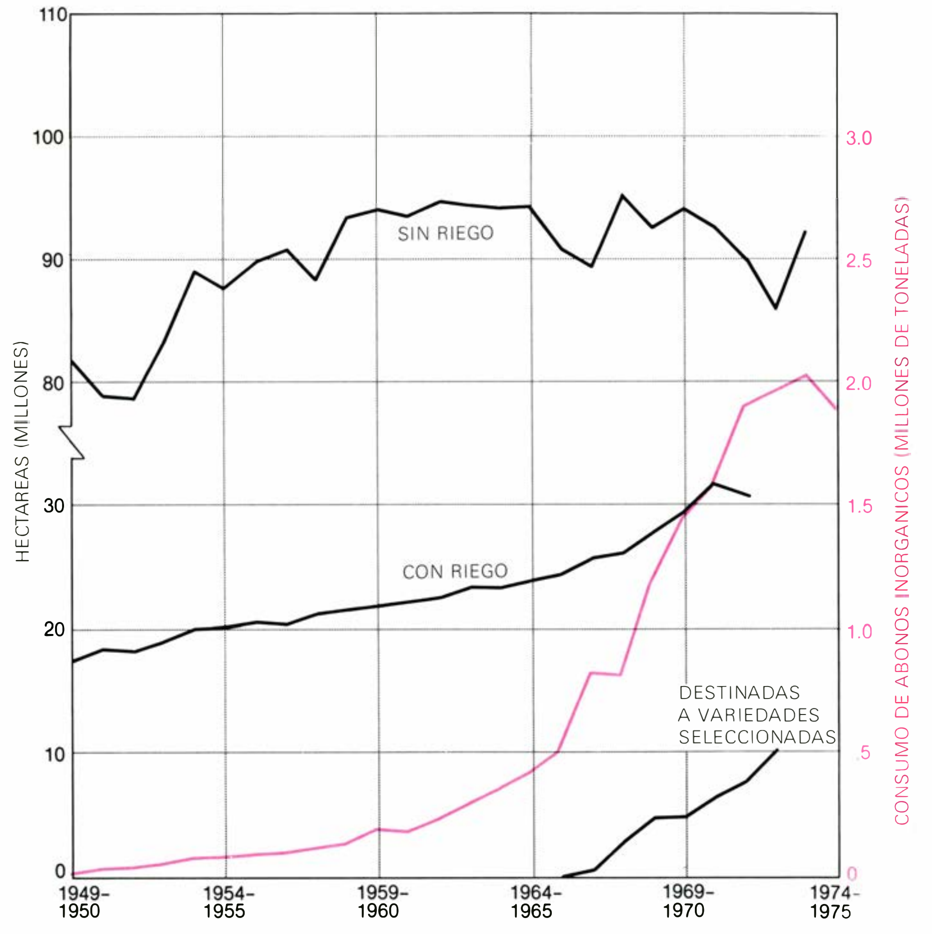
LA PRODUCCIÓN DE CEREALES para el consumo humano ha crecido en promedio algo más aprisa que la población, desde la independencia del país, en 1947. Sin embargo, dado que la agricultura hindú depende estrechamente de las lluvias monzónicas, se han registrado retrocesos en años de escasez de precipitaciones, sobre todo en 1965-1967 y 1972-1973. La curva denominada "producción cereal compensada" se ha calculado de tal modo que muestre la producción que podría haberse esperado a partir de los factores conocidos (trabajo, abonos, semillas seleccionadas, etcétera), si las condiciones meteorológicas se hubieran mantenido dentro de los límites normales. La curva "comercialización de los cereales", calculada también, representa los cereales disponibles para la venta en las ciudades, descontado el consumo de la población agrícola. El crecimiento industrial de la India desde la independencia ha sido aún más notable que su progreso agrícola, tal como muestra el índice de la producción industrial. En el futuro, sin embargo, la India tendrá que modificar como mínimo su estrategia de crecimiento industrial para poder financiar las obras de regadío y otras costosas instalaciones necesarias para que su agricultura se desarrolle adecuadamente.

De todos modos, en la India la producción de trigo no llegaba entonces, en peso, a un tercio de la de arroz, y la repercusión de las nuevas técnicas fue mucho menos espectacular en el arroz que en el trigo. Las condiciones de producción del arroz, muy heterogéneas, dificultan la obtención de nuevas variedades satisfactorias. Además, las regiones arroceras de la India están dotadas de una red de instituciones de ayuda al agricultor menos evolucionada que la que poseen las de predominio triguero. A consecuencia de ello, las regiones arroceras llevan un retraso de varios años respecto a las zonas de trigo por lo que al aprovechamiento de la nueva tecnología se refiere. De todos modos, la producción total de cereales creció con una tasa media anual del 3,3 por ciento entre las campañas de 1964-1965 y 1970-1971, estrechamente comparables y muy buenas desde el punto de vista meteorológico. El 60 por ciento de este incremento es imputable al conjunto de factores relacionados con un empleo más intenso de abonos. A causa de la naturaleza y de la localización de la nueva producción, la cantidad de cereales que llegó a los mercados urbanos en el período situado entre 1964-1965 y 1970-1971 creció al ritmo impresionante del 4,5 por ciento anual. A corto plazo, estas cantidades adicionales de cereales se utilizaron en gran parte para sustituir importaciones, siguiendo una política inspirada en la poca seguridad que entonces ofrecían los posibles envíos de los Estados Unidos.

A la larga, este crecimiento acelerado tuvo profundas consecuencias, tanto para el ritmo como para las pautas del desarrollo económico general de la India.

Desde 1971 a 1975, el crecimiento de la producción cerealista hindú se estancó. Una serie de sequías, en 1972 y 1973, fue seguida poco tiempo después por una escasez mundial de abonos debida a una insuficiencia de la capacidad productiva mundial y a lo que sólo puede merecer la calificación de gestión desastrosa de la economía de los fertilizantes a escala mundial; sobre todo, por el papel básico que desempeñan éstos en cualquier empeño por mejorar de un modo permanente el equilibrio mundial entre alimentos y población, Este último fenómeno afectó gravemente al punto exacto del esfuerzo de modernización de la agricultura hindú en el que se cifraban necesariamente las esperanzas de mejorar la situación alimentaria del país. Durante la campaña agrícola 1975-1976, sin embargo, a causa del buen tiempo y de un principio de recuperación en las disponibilidades de fertilizantes, la producción subió de golpe a 116 millones de toneladas y las reservas de alimentos crecieron en 10 millones de toneladas. El que la India mantenga y aumente o no esas tasas de incremento de la producción agrícola depende de factores numerosos y complejos, así como del vigor con que el gobierno impulse las nuevas medidas y de la aceptación que tengan éstas entre los agricultores.

Uno de los problemas más graves con que se enfrenta el agricultor, el técnico dedicado a la elaboración de estadísticas o el planificador consiste en averiguar si un determinado cambio de carácter técnico o estratégico será rentable o no. La simple variación de un 1 por ciento en el índice de crecimiento de la producción cereal puede tener repercusiones inmensas en el nivel de la dieta alimentaria mínima de millones de personas, así como en el posible éxito de una estrategia de desarrollo determinada.



LOS ELEMENTOS ESENCIALES DE LA "REVOLUCIÓN VERDE" en la India son los abonos inorgánicos, los regadíos y las nuevas variedades de cereales de gran rendimiento. La agricultura hindú ha dependido siempre estrechamente del regadío. Ya en 1950 se regaba casi una hectárea de cada cinco en las tierras de cultivo de cereales para el consumo humano; actualmente, se riega una hectárea de cada cuatro. En los Estados Unidos, menos del 5 por ciento de todas las tierras agrícolas exigen regadío. Entre 1959 y 1974, el empleo de abonos inorgánicos en la India creció el 19 por ciento anual. Esta, utiliza la séptima parte de abonos por hectárea que Estados Unidos.

Sin embargo, cuando, como en el caso de la India, la producción ha variado en más del 10 por ciento anual en seis años de los últimos 25 y en más del 5 por ciento en más de la mitad de estos 25 años, ¿es posible detectar estadísticamente una variación de un 1 por ciento en la tendencia general? En tales condiciones, cualquier juicio sobre una variación de tendencia no puede basarse en los métodos estadísticos normales. Quizá lo mejor que se puede hacer sea comparar años de condiciones meteorológicas semejantes y confiar en que toda diferencia observable en la producción puede atribuirse al esfuerzo humano y a la política adoptada.

La incertidumbre con que se enfrenta el técnico estadístico representa un problema mucho más grave, desde luego, para cada agricultor considerado individualmente. Apreciar si una innovación será rentable es ya difícil *a posteriori*; apreciar la rentabilidad *a priori* es prácticamente imposible. Las consecuencias que acarrea un error pueden ser graves y, además, pueden aliarse a los efectos imprevisibles de las inclemencias atmosféricas.

El riesgo es aún mayor si el agricultor está poco familiarizado con los consejos de las estaciones de experimentación agrícola y si el agente de extensión agraria que transmite el consejo es nuevo en el oficio.

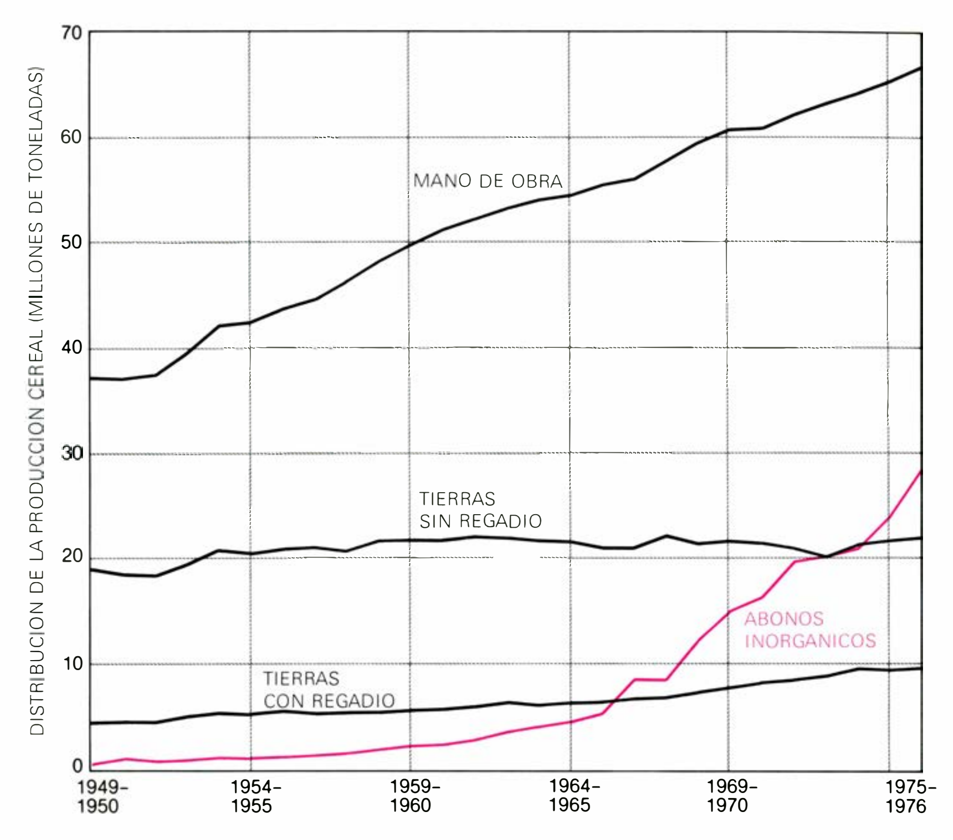
Para el planificador, las fluctuaciones interanuales en la producción agrícola son también un factor de perturbación cuando intenta determinar el caudal de divisas por asignar a las importaciones o de provisiones, si las hubiere, para paliar una posible hambruna. ¿Se atreverá a aumentar el nivel de empleo y, por consiguiente, la demanda de alimentos, si guiendo una estrategia basada en la agricultura, sabiendo además que puede ser políticamente irreversible? La reducción de la incertidumbre que emponzoña la agricultura exige inversiones enormes. Es posible que el tamaño de las inversiones relacionadas sólo con el clima obligue al planificador a abandonar una estrategia basada en la agricultura en favor de una opción de otro signo, más aceptable, aunque signifique adoptar un crecimiento menor del empleo y de los ingresos de los más pobres, con el aumento consiguientemente más lento de la demanda de alimentos.

En los países desarrollados son muchos quienes no han comprendido todavía que la demanda de alimentos en

los países en vías de desarrollo no depende rígidamente de las leyes de la biología humana. En el caso de países como la India la demanda procede en gran parte de opciones generales que imponen la elección de una estrategia de desarrollo determinada y la tasa de crecimiento del empleo y, por ende, la parte de la renta total que se halla en manos de los pobres. Los peones que ocupan el 20 por ciento inferior de la escala de ingresos de la India emplean el 60 por ciento de cualquier aumento de sus ingresos personales en la adquisición de cereales y el 85 por ciento en la compra de productos agrícolas en general. Las personas que ocupan el 10 por ciento superior de la escala gastan en cereales solamente el 2 por ciento de los incrementos de su renta. Por consiguiente, pues, la demanda efectiva de alimentos depende significativamente de quienes se beneficien de los aumentos de ingresos. Toda estrategia de desarrollo que se base en el incremento del empleo ha de apoyarse en una estrategia agrícola satisfactoria.

Las elecciones hindúes de 1971 son instructivas a este respecto. En aquella ocasión, la señora Gandhi consiguió un triunfo abrumador con el lema *garibi hatao* (abolid la pobreza). Era un lema adecuado, en principio cuando menos, a la situación de aquel año, en que, debido al buen tiempo y a la revolución verde, las cosechas fueron extraordinariamente buenas. En cambio, resultó poco apropiado para la realidad de los cinco años siguientes, cuando el mal tiempo, sumado a diversos factores exteriores, provocó el estancamiento de la agricultura, mientras que el rápido descenso de la ayuda extranjera frenaba asimismo el crecimiento de otros sectores de la economía.

Así pues, se plantea un dilema. Por un lado, toda estrategia de desarrollo encaminada a la reducción de la pobreza debe basarse (cuando menos en un país de las proporciones de la India) en el crecimiento acelerado del sector agrícola. Y este crecimiento debe garantizarse, contrarrestando las irregularidades climáticas, con grandes inversiones en regadíos permanentes y con cierto acceso a suministros de cereales del exterior o mediante el almacenamiento nacional de cereales (con el consiguiente retraso en la mitigación de la pobreza mientras se forman estas reservas). En sí misma, una estrategia orientada a aliviar la pobreza implica un compromiso político y una reestructuración de las bases del poder político que no pueden invertirse

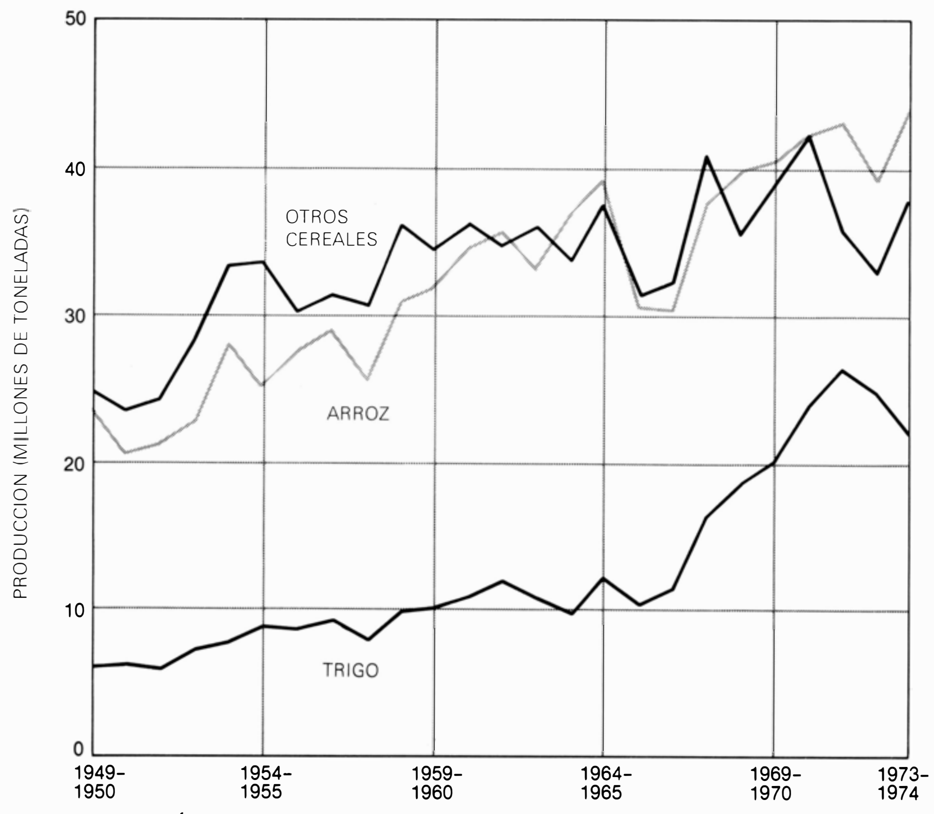


LOS FACTORES DETERMINANTES DE LA PRODUCCIÓN CEREAL son la tierra, la mano de obra, los regadíos y los abonos. Las curvas muestran de qué modo puede atribuirse el crecimiento de la producción cereal hindú a cada uno de estos cuatro factores. Durante los 29 años transcurridos desde la independencia, la causa principal de la mayor producción de cereales ha sido el incremento de la mano de obra, posibilitado y a la vez exigido por el aumento de la población del país. Durante la pasada década, sin embargo, el empleo cada vez más intenso de abonos inorgánicos ha provocado un aumento de la producción cereal igual al que se consiguió con el incremento de la mano de obra en los dos últimos decenios. Los efectos de las nuevas variedades de gran rendimiento se manifiestan principalmente en la curva referida a los abonos. La suma de las cuatro curvas corresponde a la curva "producción cereal compensada para el consumo humano" de la figura anterior.

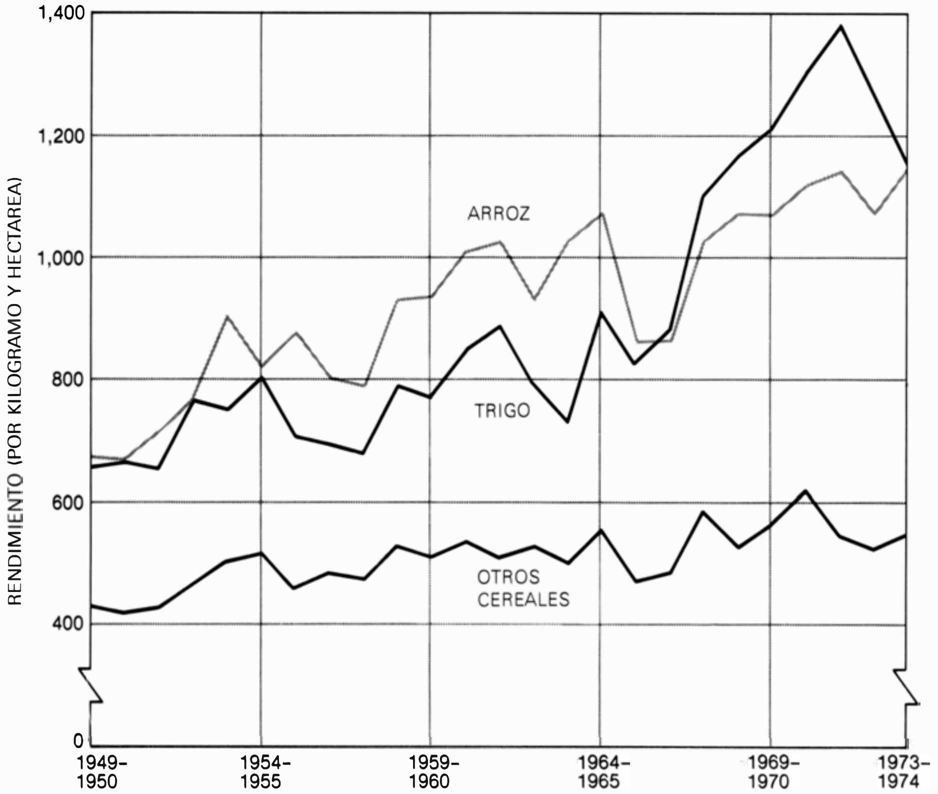
luego, ante un cambio en las condiciones atmosféricas.

Por otro lado, una decisión en favor de la agricultura exige la asignación de recursos en tan gran escala que excluye cualquier otra opción estratégica. La India prefirió no comprometerse totalmente con la agricultura a finales de la década de los cincuenta y comienzos de la siguiente. La adopción actual de una estrategia de desarrollo basada en la agricultura dependerá de cuál sea la opinión predominante sobre las posibilidades de éxito en la agricultura; de la importancia del apoyo que decida prestar el conjunto de las naciones a la realización del potencial agrícola hindú y a la adopción de garantías contra las irregularidades climáticas; de si la opinión india considera que la integridad y la dignidad nacionales residen en la mitigación de la pobreza o bien en el reforzamiento de la industria pesada; y de si el poder político continuará descansando sobre una alianza entre la clase de los altos funcionarios, muy bien organizada, y los intereses de las grandes empresas o bien sobre los pobres, menos organizados, pero más numerosos. De ahí que la tasa de aumento de la producción de alimentos sea el resultado y a la vez una de las causas de una decisión política básica, así como de la elección de una determinada estrategia global de desarrollo. Sólo cuando se hayan tomado estas decisiones tendrá sentido y utilidad discutir los pormenores de la producción agrícola.

El papel que podrían representar la ayuda extranjera y otros factores externos en la elección de una estrategia de desarrollo queda ilustrado también por los acontecimientos de este período. En 1965, la ayuda extranjera representaba más del 20 por ciento de la inversión bruta de la India. En 1972, esta ayuda se había reducido a cero, calculada en transferencias de recursos netos reales, con la consiguiente caída en picado de las inversiones y de los ingresos de la hacienda pública. Después de 1972, el



LA PRODUCCIÓN DE ARROZ Y DE TRIGO en la India se ha incrementado más rápidamente que la de otros cereales. La brusca elevación de la producción de trigo refleja la adopción de variedades de gran rendimiento. La introducción de nuevas variedades de arroz ha sido más lenta, pues se necesitan más variedades para adaptarse a la heterogeneidad de condiciones existentes en la India.



LA COMPARACIÓN DE RENDIMIENTOS demuestra que el arroz y el trigo superan ampliamente a los restantes cereales destinados al consumo humano. Durante todo el periodo de 24 años considerado, el rendimiento del arroz ha mostrado un crecimiento francamente sostenido de un 3 por ciento anual aproximadamente. El rendimiento del trigo, en cambio, no mejoró sustancialmente hasta que aparecieron las nuevas variedades seleccionadas, a finales de la década de los sesenta. La brusca caída de los rendimientos del trigo después de 1972 se debió a una escasez de fertilizantes sumada a la falta de agua para regadío. El rendimiento de los demás cereales para el consumo humano es considerablemente inferior al del arroz y el trigo y será difícil mejorarlo en el futuro.

total de la ayuda extranjera volvió a crecer, pero a un ritmo inferior al del enorme gasto, abultado por el aumento de precios, que suponían los alimentos y el petróleo importados. De esta manera, precisamente en un momento de malas cosechas, los recursos necesarios para financiar las importaciones de los alimentos y de los bienes necesarios para el desarrollo se redujeron bruscamente. Para acabar de complicar las cosas, las reservas de cereales acumuladas durante el primer embate de la revolución verde desaparecieron bajo los efectos conjugados, momentáneos pero importantes, de los 10 millones de refugiados de Bangladesh, de la enorme subida de precios provocada por la entrada de la URSS en los mercados mundiales de cereales, en 1973, y de la sequía de 1974. No es de extrañar que la señora Gandhi fuera incapaz de cumplir sus promesas y tuviera que replantearse las bases de la estrategia política adoptada en 1971.

Además de estar estrechamente ligadas entre sí, la agricultura y la renta se hallan enlazadas también con el crecimiento de la población. Muchos creen todavía, especialmente en los países desarrollados, que el procedimiento más fácil para ganar la carrera entre alimentos y población, en un país como la India, consiste simplemente en reducir la tasa de crecimiento de sus habitantes. Sin embargo, está ya suficientemente probado que el descenso de los índices de natalidad es función de la participación más o menos amplia de la población en los beneficios económicos y sociales de la comunidad. Por las razones que he explicado, esta participación depende de la medida en que pueda acelerarse el crecimiento agrícola a fin de satisfacer la demanda de alimentos asociada a un mayor nivel de empleo.

Se ha mostrado sin lugar a dudas que en los sistemas económicos que facilitan una participación amplia, como los que rigen en Taiwan, China, Sri Lanka y el estado hindú de Kerala, los índices de natalidad descienden con mayor rapidez y a unos niveles de renta media inferiores a los que se podría suponer basándose en la experiencia previa de la Europa occidental y los Estados Unidos. Si bien hay que reconocer que las campañas de planificación familiar son una ayuda importante, no hay razones convincentes para suponer que puedan resolver el problema por sí solas, ni siquiera recurriendo a formas de persuasión sutiles (y a veces no tan sutiles). De ahí, pues, la paradoja:

actualmente se necesita aumentar la producción de alimentos para que disminuya la tasa de población, lo cual, a su vez, menguará la demanda posterior de un aumento de la producción de alimentos.

Después de más de dos décadas de evolución gradual, en la India y en otras partes, han quedado patentes las grandes líneas de una estrategia rural que puede tener éxito. Lo que no está tan claro son las modalidades de su aplicación y los posibles éxitos cuantitativos.

Se puede afirmar con cierta seguridad que la India puede acelerar su crecimiento agrícola hasta alcanzar unas tasas del 3,5 al 4 por ciento anuales. De hecho, estos cálculos dejan un margen bastante amplio para errores e incumplimientos. Enumerar las condiciones previas para dicho crecimiento equivale a destacar sus riesgos y el dilema subyacente. Estas condiciones se pueden agrupar en cuatro categorías: inversiones a gran escala en regadíos, red viaria y energética; gran incremento en los suministros de abonos; organización eficaz de la investigación agronómica y mejora generalizada de las instituciones dedicadas al desarrollo rural (incluyendo la participación del pequeño campesino, tan difícil de orquestar). Desde el punto de vista regional, la clave del éxito a corto plazo reside, en gran parte, en los estados de la fértil llanura del curso bajo del Ganges, al este del país. Se trata, sin embargo, de aquellos estados cuyas bases institucionales están menos desarrolladas que el promedio del país, en cuanto al crecimiento agrícola se refiere. Políticamente, la clave del éxito reside en una descentralización de la toma de decisiones, con todos los peligros que supone el establecimiento de nuevas bases de poder político. La necesaria reasignación de recursos debilitará los lazos políticos con los grupos tradicionales, creando al mismo tiempo las posibilidades de apoyarse en otros nuevos. No es de extrañar, pues, que los consejos simplistas que para aumentar la producción dan a veces los observadores externos (por ejemplo: "Fijen los precios adecuadamente") sean acogidos con desdén por quienes se enfrentan directamente con la realidad de conseguir el crecimiento de la agricultura india.

El crecimiento acelerado de la agricultura de la India depende fundamentalmente de la puesta a punto de nuevas variedades de plantas de cultivo de gran rendimiento. Estas, a su vez, sólo rendirán al máximo si tienen aseguradas las cantidades necesarias de agua y abonos. El transporte de los fertilizantes y demás factores que potencien la producción, así como la mayor producción obtenida, exigirán incrementar las inversiones en vehículos y carreteras.



LA AYUDA EXTRANJERA A LA INDIA tuvo un crecimiento bastante sostenido entre mediados de la década de los cincuenta y mediados de la siguiente, para descender luego bruscamente. Las cifras recogidas aquí representan las transferencias de recursos exteriores netos a favor de la India, calculados por la diferencia entre lo que la India tenía que pagar por las importaciones y lo que obtenía de sus exportaciones. La elevación de estas transferencias de recursos exteriores netos en los últimos años responde a la súbita subida del petróleo y de abonos, ambos productos importados.

El rápido incremento en la producción cereal de finales de la década de los sesenta se consiguió en gran parte mediante la extensión de los regadíos. Ello requirió grandes inversiones, no sólo en obras de regadío clásicas, sino también en energía eléctrica para mover las bombas que permitieron regar suficientemente las magníficas zonas trigueras del noroeste. Se puede obtener un crecimiento agrícola semejante más hacia el este, en la llanura gangética, a base de variedades arroceras de gran rendimiento, siempre que se aprovechen los abundantes recursos de aguas subterráneas para complementar las lluvias monzónicas. Se puede plantar trigo, si hay agua bastante para regarlo, después de cada cosecha de arroz. Este procedimiento ya se va implantando y se están comprobando sus grandes posibilidades, pero queda aún mucho camino por delante. Las inversiones suplementarias necesarias serán más cuantiosas aún que las que se hicieron a finales de los años sesenta. Incluso en aquella época quedaron sin cosechar grandes cantidades de trigo por la escasez de electricidad, sobre todo en años secos, en los que los déficit de agua no permitieron generar la energía eléctrica necesaria para las bombas de riego.

Las necesidades de fertilizantes para este crecimiento acelerado de la producción agrícola son también inmensas: incrementos anuales del 15 al 20 por ciento, es decir, un aumento de 200.000 a 400.000 toneladas-año, en nitrógeno, equivalentes a cientos de millones de inversión anual, creciendo todo ello a unas tasas cumulativas que causan vértigo. Una inversión tan prodigiosa en fertilizantes quizás resulte incompatible con el resto de la estrategia de crecimiento agrícola y, por descontado, con una estrategia basada en un crecimiento industrial que absorba mucho capital. La alternativa consistente en importar fertilizantes plantea toda una serie de espinosas cuestiones políticas relacionadas con la dependencia respecto de fuentes de suministro exteriores. Los dilemas del desarrollo surgen de este tipo de consideraciones, tan sumamente complejas.

Llegar a conseguir altos índices de crecimiento agrícola no es solamente una cuestión de saber producir más en el campo; se complica en seguida con problemas de independencia nacional, de suposiciones sobre el volumen de ayuda que se puede esperar de otros países y de trastrocamiento de la organización política existente. Todo depende de la opción que se elija para el desarrollo.

Si el éxito agrícola, en la India como en otras partes, depende fundamentalmente de nuevas variedades de plantas de cultivo, es lógico que éstas sean puestas a punto en el propio país al cual van destinadas. Por regla general, no es posible aclimatarlas partiendo de unas condiciones tan distintas como las de California, Iowa, México o las Filipinas. Los campesinos indios han desarrollado métodos de producción y almacenaje muy efectivos, bien adaptados a la diversidad de ambientes que se encuentran en la India. El éxito del cambio no vendrá de modificar precisamente la mentalidad de unos campesinos prudentes y avisados, sino de la modificación del entorno dentro del cual estos campesinos toman sus decisiones. Para llevar a efecto un cambio de este tipo, es necesario crear una complicada estructura institucional donde coexistan la investigación y los servicios a nivel local. Se avanzó mucho en este sentido durante los últimos años de la década de los cincuenta, con la ayuda de la Fundación Rockefeller, que aplicó la experiencia adquirida en la labor llevada a cabo en México y en otros países. La estructura institucional se ha de reforzar más y tiene que estar en continua comunicación con centros avanzados, como el Instituto de Investigaciones del Arroz (IRRI) de las Filipinas. Por desgracia, esta estructura es más débil justamente en aquella parte de la zona arrocera que tiene las mayores posibilidades físicas inmediatas.

La puesta en práctica de la política de difusión de las nuevas tecnologías agrícolas exige un sistema global de instituciones que distribuyan los abonos, enseñen los nuevos métodos, otorguen créditos, organicen el estudio de regiones concretas y comercialicen los productos agrícolas. Tales instituciones tienen que contar con personal preparado, y no es probable que sean demasiado eficaces si los campesinos no poseen la instrucción suficiente, no sólo para comprender y aprovechar lo que las instituciones puedan ofrecerles, de modo que les sea posible actuar con eficacia, sino también para influir sobre las propias instituciones y las personas que las rigen, educadas según criterios académicos. De ahí que un sistema educativo de amplia difusión constituye un elemento importante del crecimiento agrícola. Aunque el porcentaje de niños de 6 a 10 años matriculados en las escuelas primarias aumentó del 60 al 99, entre 1951 y 1965, y la proporción de niñas creció también del 25 al 56 por ciento, la base educativa general continúa siendo estrecha y sigue actuando como un freno sobre la producción agrícola.

La tarea de llevar a cabo el cambio se complica por el hecho de que las explotaciones agrícolas de menos de dos hectáreas de extensión ocupan en conjunto una cuarta parte de la tierra de cultivo de la India. Los propietarios de minifundios son pobres y desconfían de los experimentos. Sin embargo, si se les llega a persuadir de que apliquen innovaciones y se les asesora a través de instituciones adecuadas, son por lo menos tan eficaces como los agricultores con predios más importantes en lo que respecta a la utilización del agua, de los abonos y los pesticidas. Llevar hasta el pequeño agricultor el mensaje de las nuevas técnicas e integrarlo en las instituciones crediticias, educativas y de comercialización exige también cuantiosas inversiones en personal capacitado.

En veinte años, la India ha recorrido mucho camino, tanto en la creación de instituciones dedicadas a la agricultura como en la experimentación sobre desarrollo comunitario, en la puesta en marcha del Programa de Distritos Agrícolas Intensivos y la Agencia de Desarrollo para Pequeños Agricultores, en el establecimiento de cooperativas de crédito y de bancos rurales, etcétera. El éxito sustancial que han conseguido estas iniciativas inspira un sólido optimismo. De todos modos, falta mucho por hacer y ello exige tiempo y una cuidadosa selección de las prioridades a un alto nivel de la sociedad. Los éxitos cosechados tienen que valorarse a la luz del bajísimo nivel del que se partió en la época de la independencia; la escala del esfuerzo realizado es muestra del esfuerzo que se necesita desplegar todavía si se quieren aprovechar las grandes posibilidades que atesora la agricultura india.

La región que ofrece probablemente las mejores posibilidades de crecimiento agrícola es la llanura gangética, donde cuatro estados principales produjeron el 22 por ciento de los cereales de la India en la campaña 1970-1971, utilizando sólo el 10 por ciento de los abonos nitrogenados consumidos en el país. La región cuenta con abundantes recursos de aguas subterráneas. El principal obstáculo a su desarrollo agrícola es el fracaso en la creación de las instituciones del tipo que he descrito.

En Bengala occidental, uno de los estados clave de esta región, el sistema predominante de propiedad de la tierra caracterizado por la existencia de gran número de pequeños propietarios, impide a buen seguro el desarrollo institucional imprescindible para la modernización de la agricultura. Por lo común, cada propietario posee un promedio de unas cuatro hectáreas, explotadas en arrendamiento por tres o cuatro campesinos y sus familias. Por supuesto, el número de propietarios es considerable. En ninguna democracia de corte occidental, ni tampoco en un régimen más centralizado, puede tratarse a la ligera una clase de propietarios de tanto peso político. ¿Se puede reformar el sistema mediante leyes que estabilicen el arrendamiento y fijen las rentas? ¿Es posible una reforma agraria más profunda? ¿Se puede aumentar la producción sin realizar ninguna clase de reforma? Si aumenta la producción, ¿se agudizarán las tensiones sociales ya presentes, hasta el punto de perturbar la estabilidad política necesaria para la continuación del proceso de crecimiento? Se trata de cuestiones con las que están familiarizados quienes ocupan el poder político. Las respuestas son fáciles de dar... si no hay que cargar con la responsabilidad de las consecuencias. Esta complejidad crea una indecisión tanto mayor cuanto que los recursos son muy limitados y los riesgos políticos son tan grandes.

Más allá del problema político, se plantea la duda sobre cuál es el mejor sistema de crear instituciones: si mediante la ampliación de las mejores instituciones existentes en otros estados o bien, mediante un proceso más lento pero de mayor aceptación, reformando estructuras presentes ya en el propio estado. En este segundo caso, se debe trabajar teniendo presente en todo momento que las actuales estructuras son deficientes, precisamente por los vicios de que adolecen las relaciones políticas e institucionales existentes.

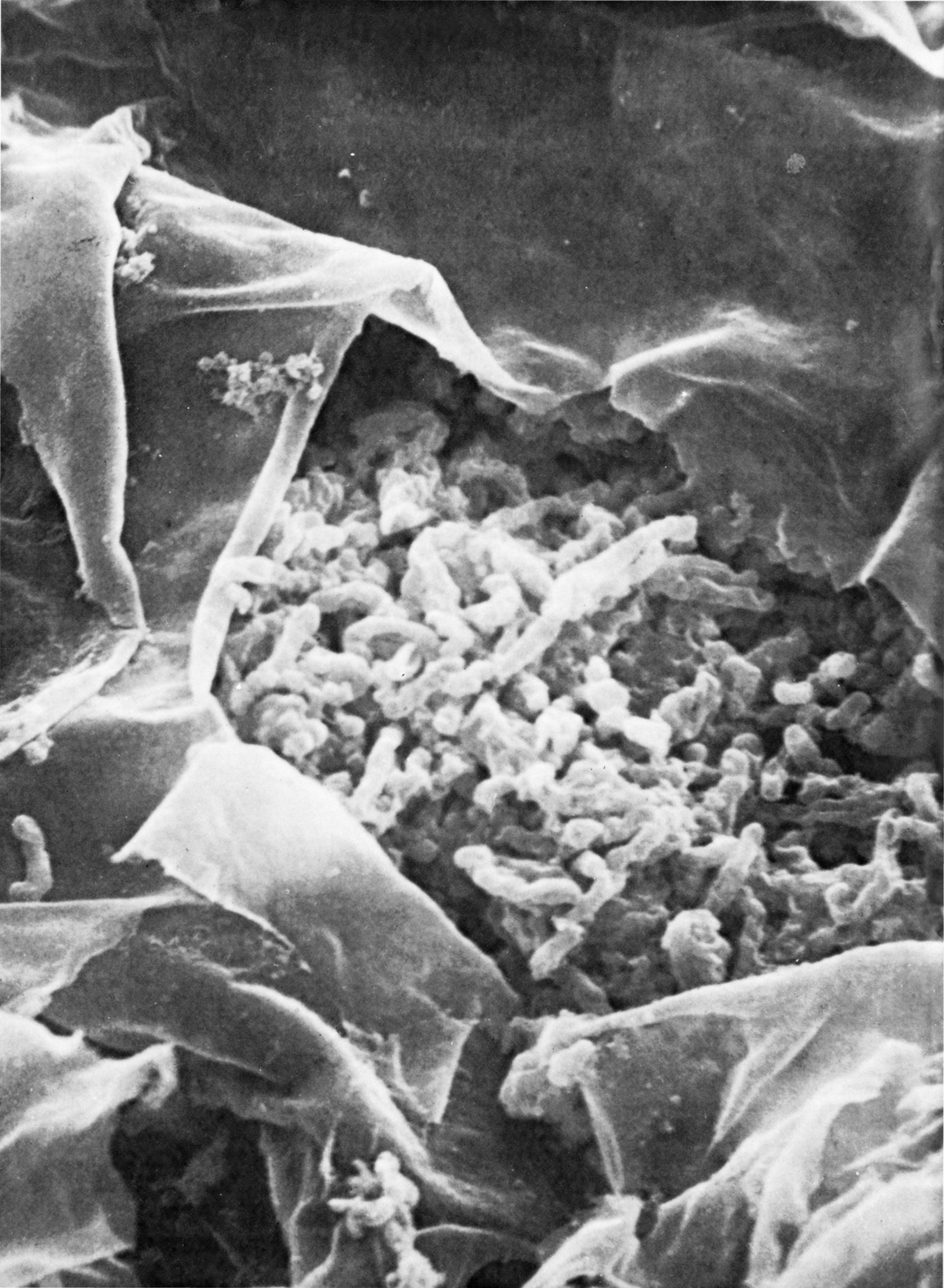
A la vista de tanta complejidad e incertidumbre, ¿qué tasa de crecimiento de la agricultura hindú es lícito esperar? Si los regadíos continúan extendiéndose al

elevado ritmo con que lo hicieron durante el período 1961-1968, si el empleo de fertilizantes crece a una tasa parecida a la que se registró durante el mismo período, si los agrónomos ponen a punto nuevos métodos y variedades, especialmente en el caso de arroz, indispensables para aprovechar el regadío y los fertilizantes, si tienen éxito los esfuerzos por llegar hasta el pequeño agricultor, en tal caso es posible alcanzar una tasa de crecimiento cercana al 5 por ciento anual. Teniendo en cuenta que la tasa de 3,3 conseguida entre 1965 y 1971 mereció llamarse la revolución verde, habrá que convenir que un 5 por ciento constituye una perspectiva magnífica. Si se hace una estimación algo más modesta acerca del rendimiento de los factores físicos de la producción, tomando por ejemplo el rendimiento real obtenido en la década de los cincuenta, la tasa de crecimiento agrícola debería llegar todavía al 4 por ciento. Las cantidades que se han supuesto para cada uno de los factores de la producción son razonables; no lo es tanto quizá suponer que se alcance simultáneamente. Teniendo en cuenta las deficiencias, se puede confiar con ciertas garantías en una tasa de crecimiento del 3,5 al 4 por ciento. Se trata de una tasa compatible con una estrategia general que tenga en cuenta asimismo un crecimiento industrial acelerado y un desarrollo caracterizado por una amplia participación. El incremento de 0'5 por ciento en la producción cereal puede parecer poca cosa; no lo es, sin embargo, cuando se refiere a un sector tan extenso y tan básico o cuando se consideran las consecuencias que pueda tener para el mejoramiento real de la dieta alimenticia y para el alivio de las calamidades que afligen al hombre.

Puede verse que el mayor o menor grado de aceleración de la producción agrícola hindú es, en gran parte, una elección política que implica cuestiones internas y externas. Hay cuatro puntos importantes que dependen de la influencia extranjera. En primer lugar, la ayuda en forma de cereales o créditos puede asegurar el mantenimiento de los abastecimientos mínimos en caso de irregularidades climáticas o de retrasos en la producción. Este sistema de seguridad alimentaria, respaldado por la comunidad de naciones, puede contribuir a que se cambie hacia una estrategia rural, basada en el pleno empleo.

En segundo lugar, la asistencià técnica extranjera en investigación, educación y otros muchos aspectos del desarrollo rural puede ayudar a superar las trabas que para el crecimiento supondría, en otro caso, la escasez de personal capacitado. El nivel de asistencia tiene que calcularse con sumo cuidado, porque lo que se pretende es acelerar la ejecución de las tareas necesarias sin perjudicar por ello la capacidad de la India para llevar a cabo por sí misma estas tareas a largo plazo. Actualmente, la India puede absorber con eficacia la asistencia técnica que se le preste en determinados campos, pues posee ya las instituciones agrícolas básicas y cuenta con suficiente personal administrativo bien preparado y con experiencia. En tercer lugar, la ayuda económica en gran escala puede no sólo aportar parte del capital necesario para el crecimiento rural, sino satisfacer también la inevitable necesidad de divisas mientras la economía hindú no alcance la etapa más favorable para la exportación de bienes manufacturados por una industria moderna y capaz de absorber una mano de obra numerosa que se halla implícita en la nueva estrategia.

En cuarto lugar, quizás el aspecto más importante de todos sea la existencia de un ambiente internacional donde se dé prioridad a los aspectos humanos del desarrollo, antes que a la obtención de ventajas políticas inmediatas en la pugna política entre las grandes potencias. Si bien, a la larga, la estrategia basada en el desarrollo rural ofrece unas posibilidades de rápido crecimiento mayores que la otra estrategia, que se basa en la industria y el desarrollo urbano, a corto plazo exige una mayor dependencia del exterior en cuanto a abastos, abonos, técnicas y capital. El brusco descenso de la ayuda extranjera neta a la India, desde 1200 millones de dólares en 1965 (2,63 dólares per cápita) a prácticamente cero en 1972, no constituye ciertamente un argumento a favor de una creciente dependencia de los países occidentales y, por consiguiente, fomenta la adopción de un enfoque del crecimiento más cauteloso, más orientado hacia el interior y sustentado en un marco más estrecho. En política, el éxito tiende a valorarse a la corta y, con frecuencia, los políticos eligen estrategias de crecimiento que maximicen una seguridad a corto plazo a expensas de la seguridad a largo plazo. Antes de juzgar las decisiones de la India, los demás países deberían examinar sus propias prioridades a corto y a largo plazo.



Recursos disponibles para la agricultura

Las reservas físicas de tierra, aire, fuego (energía) y agua son abundantes pero de un tope máximo. Las reservas biológicas y sociales, por el contrario, tienen capacidades insospechadas

Roger Revelle

Al considerar las reservas necesarias para alimentar a la humanidad, tendemos a pensar en las reservas utilizadas directamente en la agricultura. Ahora bien, sólo una parte de los productos alimenticios de origen vegetal pueden ingerirse sin someterse a un proceso posterior. La mayoría de los productos agropecuarios tienen que ensilarse, transportarse, distribuirse y cocinarse antes de llegar a formar parte de la nutrición humana. Por consiguiente, hay que pensar en todos los recursos necesarios para el sistema alimentario humano, y no solamente en los recursos utilizados por el campo.

Debemos recordar también las otras formas, reales o potenciales, que tienen los humanos de obtener alimentos. Hace muchísimo tiempo, cuando todavía no existía la agricultura, los hombres y las mujeres trabajaban por su sustento con más ahínco que lo hicieran otros animales, recolectando los frutos, hojas, tallos o raíces comestibles de las plantas silvestres, o las huevas y las partes edibles asimismo de animales invertebrados, cazando y pescando. Los útiles necesarios eran pocos y sencillos: pedernal y otras piedras pulimentadas en punta de lanza y flechas, fibras vegetales para redes de pesca y cuencos, arcilla para enseres domésticos, leña seca para cocinar y huesos para sus propias armas y sus anzuelos de pesca.

Las flotas pesqueras son la contrapartida moderna de este antiguo método de producción de alimentos. Proporciona aproximadamente el 10 por ciento de las proteínas disponibles para la población mundial de nuestros días (y un porcentaje bastante más elevado en muchos países pobres); ahora bien, en punto a energía, sólo aportan una mínima parte total que ha de recabarse a través de los alimentos. Es probable que estas proporciones disminuyan en el futuro. La pesca potencial máxima que puede sostenerse no es, probablemente, mayor que el doble de la actual y las exigencias para alcanzar ese máximo, en particular las necesidades de combustible, son costosas. La situación podría cambiar con el desarrollo de la "maricultura" o cultivo del océano, pero no es probable que este enfoque aporte nuevos datos en el campo de la alimentación, en un futuro previsible. Si hay que abastecer a una población mundial que se moverá entre los seis y los siete mil millones de habitantes en el año 2000 (no entremos en la densa población dentro de 50 a 100 años), no cabe otra alternativa que potenciar al máximo toda la producción agrícola. El modo y la forma en que esto ha de llevarse a cabo depende de la magnitud de los recursos disponibles por los agricultores y de la eficacia con que se utilicen, que se dividen en dos categorías: naturales (físicos y biológicos) y sociales.

LOS MICROORGANISMOS FIJADORES DE NITROGENO suministran casi los dos tercios del nitrógeno fijado que se aprovecha en la agricultura. Una de las bacterias fijadoras de nitrógeno más importante es *Rhizobium japonicum*, que convierte el nitrógeno atmosférico en amonio en los nódulos de la raíz de soja. La soja incorpora el amonio en los ácidos nucleicos, proteínas y clorofila. La microfotografía, de la página opuesta, obtenida con microscopio de barrido, pone de relieve una muestra de bacterias *Rhizobium* liberadas al seccionar un nódulo de soja. Las estructuras hinchadas corresponden a las bacterias. Microfotografía × 2900, de W.J. Brill.

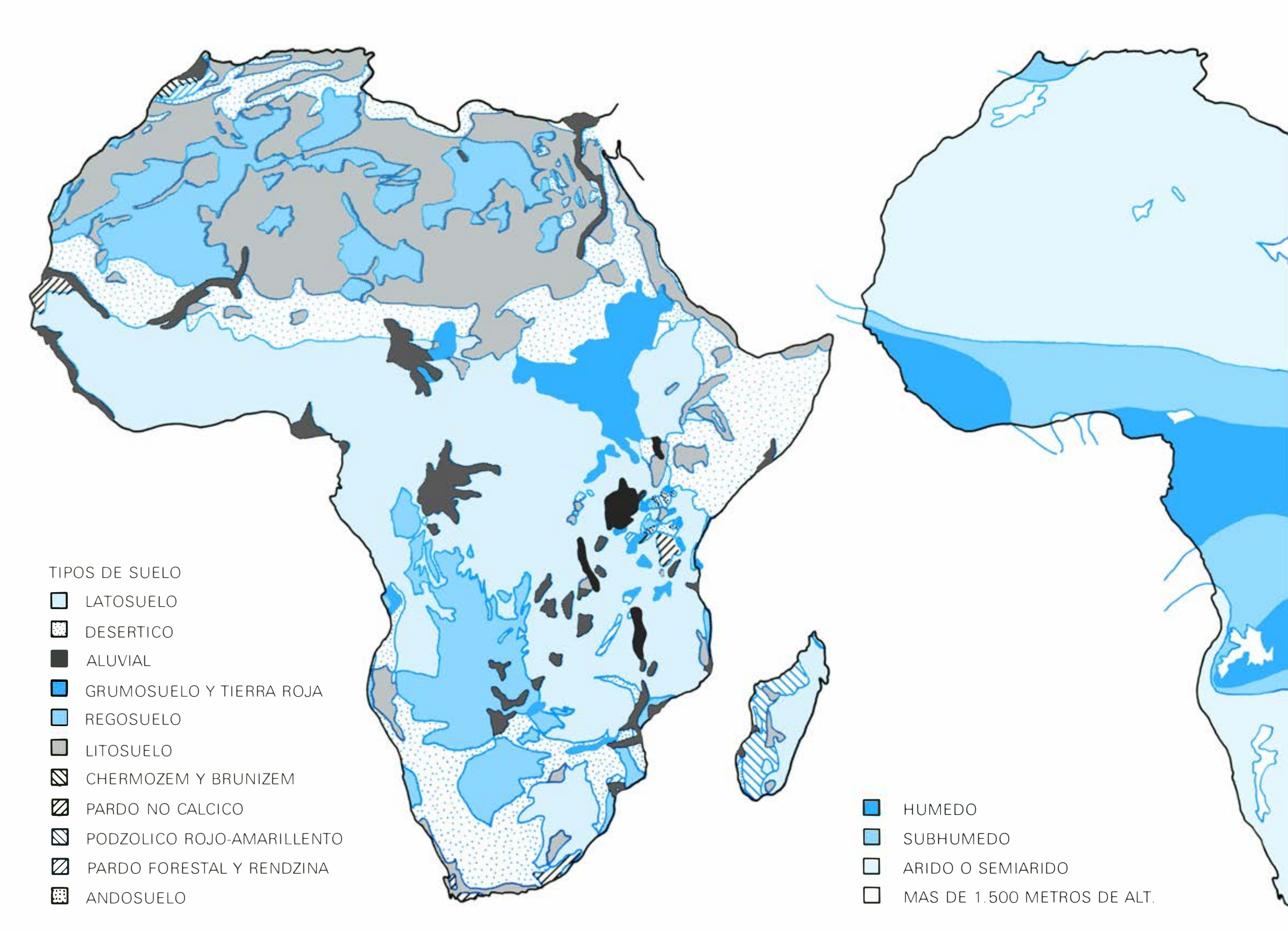
Los recursos físicos, aunque muy extensos, son esencialmente fijos. Se trata de los cuatro elementos básicos de los griegos: tierra, aire, fuego y agua. (El tropo moderno para designar *pyr*, el fuego, es otra palabra también griega, *energeia*, energía, que significaba trabajo para los clásicos.) A los recursos biológicos no pueden asignárseles dimensiones o límites; comprenden las plantas de cultivo y los animales criados por el hombre, así como los microbios y otros organismos que desempeñan diversos roles en el sistema alimentario. Los recursos sociales son también básicamente ilimitados; abarcan el capital para la inversión agrícola, las instituciones sociales que protegen al agricultor en el desempeño de su misión, en su faena y en su capacidad de progreso, y el conjunto, cada vez mayor, de conocimientos científicos y prácticos que han transformado la agricultura y han de posibilitar grandes cambios en el futuro.

El "principio de la población" de Thomas Malthus establece que la población humana aumentará hasta un tope fijado por los recursos alimentarios. Malthus consideró que este límite estaba determinado por los recursos físicos disponibles para la agricultura. Reconoció que la producción agrícola aumenta con el avance tecnológico y que el conjunto de recursos utilizables puede asimismo incrementarse. Sostenía, sin embargo, que las tasas de crecimiento de la producción irían siempre por debajo de la capacidad potencial de la humanidad para multiplicar su número. Estas ideas acerca de la relación entre población y recursos para la producción alimentaria han sido ya superadas. Me permito adelantar la proposición inversa a la de Mal-

thus: ¿Puede echarse mano a la utilización eficaz de los recursos de que dispone la producción de alimentos para extender los límites impuestos por el tamaño de la población? Una pregunta de la mayor importancia es la siguiente: ¿puede lograrse que la tasa de crecimiento de la producción agrícola supere la tasa del crecimiento demográfico, al ir mejorando las condiciones de vida de las comunidades más pobres? Esta mejora es probablemente una de las condiciones esenciales para reducir las tasas de natalidad y detener la explosión demográfica.

Hay que definir la naturaleza de los recursos físicos del sistema alimentario de una forma bastante más estricta que como meros elementos del medio ambiente, susceptibles de ser aprovechados mediante la tecnología disponible. El concepto de recurso connota las cualidades de escasez y valor. Debe escogerse entre los usos posibles de un recurso, porque la cantidad de que se dispone no permite que se explote de todas las formas posibles. En este sentido, sólo unos cuantos factores de la producción física pueden considerarse recursos para la agricultura. Por ejemplo, la luz solar y el anhídrido carbónico son fundamentales para la fotosíntesis, pero no escasean y la acción humana apenas si puede mudar o fijar las cantidades disponibles. Sólo 1/200.000 partes de la luz solar que incide sobre la tierra se convierte en energía alimenticia para los seres humanos y sólo 3/10.000 partes de anhídrido carbónico atmosférico son utilizadas temporalmente, cada año, en el metabolismo humano y devueltas a la atmósfera.

El hombre, sin advertirlo, incrementa el contenido en anhídrido carbónico de la atmósfera al quemar carbón, petróleo y gas natural; en cuyo proceso pueden reducir la luz solar incidente al aumentar el área cubierta por nubes. Si continúa la tendencia actual en la utilización de combustibles fósiles, el contenido en anhídrido carbónico de la atmósfera crecerá cinco o seis veces en los próximos 100 años. Los efectos sobre el clima de la tierra son absoluta-



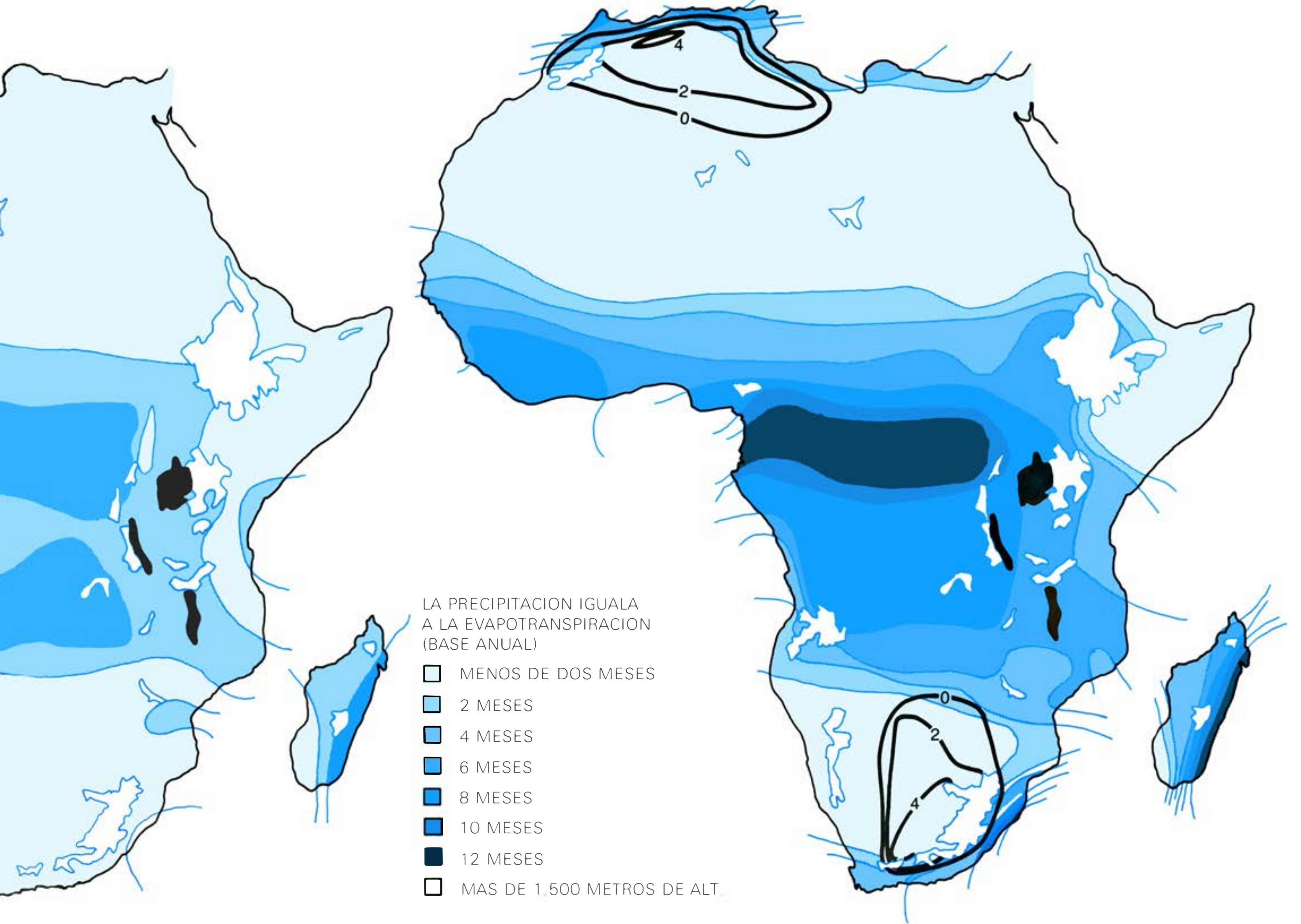
EL SUELO Y EL CLIMA DE AFRICA ponen de manifiesto algunas limitaciones al desarrollo de la agricultura; y ello ocurre incluso en aquellas zonas en donde la temperatura, la luz solar y, en algunos puntos, las precipitaciones son favorables. Africa, incluido Madagascar, posee alrededor de un 23 por ciento de la superficie mundial, excluidas las áreas cubiertas por hielos. Aunque Africa tiene una extensión cuya quinta parte es potencialmente arable o cultivable, sus principales tipos de suelos se agrupan entre los menos favorables para la agricultura *(mapa de la izquierda)*. Cinco grupos de suelos, los cinco primeros incluidos en la leyenda, constituyen el 96 por ciento de la tierra potencialmente arable. Un tercio del continente está cubierto por latosuelos, el suelo rojizo de los bosques tropicales; más de la mitad de tan importante fracción no puede aprovecharse para el desarrollo agrícola. Como los latosuelos son los suelos con mayor intensidad de lixiviación, requieren fertilizantes químicos y amplia gama de minerales para rendir desde el punto de vista agrícola. El 57 por ciento del suelo potencialmente arable de Africa es latosuelo. El siguiente suelo más abundante y potencialmente arable, que constituye casi el 20 por ciento del total, es suelo desértico, deficiente asimismo en varios nutrientes minerales. El regosuelo, suelo arenoso, no diferenciado, representa el 6,4 por ciento del territorio total potencialmente cultivable de Africa; posee baja capacidad de retención de agua si no se le somete a un tra-

mente desconocidos, pero pueden ocasionar graves trastornos en el sistema alimentario.

Pero sí se sabe, sin embargo, que la cantidad de radiación solar incidente que las plantas pueden convertir en energía química se incrementará considerablemente; tal vez, y aproximadamente, en proporción directa al incremento en anhídrido carbónico atmosférico, si, tal como indican algunos experimentos, el factor limitante en la producción fotosintética, en buenas condiciones ambientales, es la disponibilidad de anhídrido carbónico.

El nitrógeno molecular y el oxígeno, los dos constituyentes mayoritarios de la atmósfera, son esenciales para el metabolismo vegetal; pero en su forma atmosférica, al igual que ocurría con el anhídrido carbónico, no pueden considerarse recursos porque no son ningún valor a economizar. La respiración de las plantas y los animales que cubren la tierra emplea sólo 1/5000 partes del oxígeno de la tierra por año, y vuelve rápidamente, casi en su totalidad, a la atmósfera en el proceso de la fotosíntesis. Si tomamos globalmente todos los procesos biológicos, no llegan a emplear una millonésima del nitrógeno atmosférico, que también vuelve a la atmósfera a través de una acción bacteriana compleja. Los procesos biológicos y químicos por los que el nitrógeno molecular de la atmósfera queda fijado, es decir, combinado con otros elementos en substancias que las plantas pueden metabolizar, utilizan sin embargo, los recursos en el sentido en que lo hemos definido.

Los demás recursos físicos –tierra, agua y energía– están relativamente limitados en su cantidad y son valores a economizar; compete a la razón humana asignarles usos apropiados. Por tierra entendemos aquí el campo arable directamente, es decir, aquel en cuyo manto o suelo crecen las cosechas o pastos para alimentar el ganado. La tierra encierra también yacimientos de minerales ricos en fosfatos, potasio y metales, que podrán explotarse y convertirse en nutrientes para los vegetales, o en instrumentos de la explotación agrícola y maquinaria.



tamiento especial. Los grumosuelos y la tierra roja, que en conjunto constituyen casi un 7 por ciento de la superficie arable total, presentan menos problemas. De la superficie arable del continente solamente un 7 por ciento consiste en un suelo aluvial, naturalmente rico. La segunda gran deficiencia agrícola que padece Africa es la distribución irregular de las lluvias. Más de la mitad de Africa es árida o semiárida. *(Mapa del centro.)* **Para sostener una agricultura en dichas zonas, habría que importar agua desde fuentes exteriores durante todo o parte del año. En regiones subhúmedas, la precipitación anual excede a la evaporación, pero parte de estas precipitaciones tendrán que recogerse si las cosechas han de crecer durante todo el año. Solamente en las zonas húmedas puede cultivarse sin riego ininterrumpidamente, cuando la temperatura media mínima está por encima del punto de congelación. Las limitaciones que imponen esta falta de agua necesaria en el desarrollo de la agricultura, aparecen en el mapa de la derecha; se representa el número de meses por año en que las precipitaciones más la humedad residual del suelo podría superar la evapotranspiración potencial de los cultivos. Las zonas contorneadas por líneas negras indican las regiones en las que existe probabilidad de heladas; los números que figuran en las regiones de las zonas del norte y del sur** *(en el mapa de la derecha),* **corresponden al número de meses en los que la media mínima de temperatura está por debajo de la temperatura de congelación.**

El agua forma parte del substrato químico requerido en la fotosíntesis. Se utiliza, sobre todo, en el cultivo de plantas alimenticias, en particular como refrigerante y como medio de transporte entre las distintas partes de las plantas en desarrollo. Como el transporte está dirigido por presiones de vapor diferenciales, se origina así una tasa alta de evapotranspiración a partir de las hojas. Por ejemplo, el trigo, el arroz y el maíz evapotranspiran normalmente miles de toneladas de agua por cada tonelada de grano producido. El mayor volumen del agua que el hombre aprovecha y gasta, lo hace para la agricultura. Para muchísimas comunidades humanas, el agua es un recurso escaso.

El tipo de energía más importante utilizado en agricultura es la luz solar, que se convierte en energía química en el proceso de la fotosíntesis. Solamente una pequeña fracción de la energía solar que llega a las plantas cultivadas, generalmente menos de un 1 por ciento, se aprovecha para la elaboración de substancias que le pueden servir al hombre de alimento. Quizás el problema fundamental de la investigación agrícola sea aumentar esta fracción.

Ni las plantas ni los animales son capaces de fijar nitrógeno; solamente lo hacen los procariotas: microorganismos, entre los que se cuentan las bacterias y las algas azules, que no poseen núcleo celular. En las leguminosas, parte de la energía solar capturada por fotosíntesis pasa, transformada en azúcares, a bacterias simbióticas llamadas *Rhizobium,* que la aprovechan para formar amonio a partir del nitrógeno atmosférico y del hidrógeno de los glúcidos. Las plantas utilizan el nitrógeno fijado para formar clorofila, ácidos nucleicos y proteínas. Otras bacterias utilizan la energía de los desechos orgánicos para fijar nitrógeno. En las algas azules, la conversión de energía solar y la fijación de nitrógeno atmosférico tiene lugar en el mismo organismo.

En la agricultura moderna de gran rendimiento, los procesos de fijación biológica no suministran suficiente nitrógeno para la máxima producción de cosechas no leguminosas. Por ello debe recurrirse a los abonos químicos nitrogenados, en los que la energía para la fijación de nitrógeno es suministrada por el gas natural u otros combustibles fósiles. Tanto los procesos naturales bacterianos, como los procesos industriales químicos precisan, aparentemente, la misma cantidad de energía por unidad de nitrógeno fijado que se produce: unas 15.000 kilocalorías por kilogramo. En el proceso simbiótico bacteriano, la energía viene suministrada por el mismo producto sintetizado por la planta, lo cual explica por qué los rendimientos por hectárea de la soja y de otras leguminosas son, en comparación, bajos. Por cada tonelada de soja, con un contenido de un 30 a un 40 por ciento de proteína, deben fijarse 1000 kilos de nitrógeno por los *Rhizobium* simbiontes; éstos consumen en el proceso la energía contenida en 400 kilos de carbohidratos. Debido al alto contenido en energía del gas natural y de la nafta, los combustibles fósiles comúnmente utilizados en la fijación química del nitrógeno, sólo se consumen unos 150 kilos de combustible para producir 100 kilos de nitrógeno en forma de fertilizantes químicos nitrogenados. Incluso al precio actual del petróleo y del gas, el coste de esa cantidad de combustible fósil es menor que el 10 por ciento del valor del rendimiento de la cosecha resultante.

Considerando la agricultura mundial como un todo, el nitrógeno fijado sintéticamente representa sólo cerca del 30 por ciento del nitrógeno total fijado, por metabolización, por las plantas cultivadas. Durante 1974 se aplicaron en todo el mundo cuarenta millones de toneladas de nitrógeno fijado sintéticamente. De acuerdo con los cálculos realizados por Ralph W. F. Hardy, de E. I.

	SUPERFICIE CULTIVADA NETA EN LA ZONA TROPICAL HUMEDA (MILLONES HECTAREAS)	CULTIVABLE SIN RIEGO EXCEPTO ZONA TROPICAL HUMEDA (MILLONES HECTAREAS)	NECESIDAD DE RIEGO PARA CADA COSECHA (MILLONES HECTAREAS)	SUPERFICIE BRUTA CULTIVABLE SIN RIEGO (MILLONES HECTAREAS)	SUPERFICIE BRUTA CULTIVABLE CON RIEGO (MILLONES HECTAREAS)	TOTAL BRUTO POTENCIAL SUPERFICIE CULTIVABLE (MILLONES HECTAREAS)
AFRICA	105	490	10	705	290	995
ASIA	80	450	15	625	475	1,100
AUSTRALIA NUEVA ZELANDA	0	115	2	123	2	125
EUROPA	0	170	0	205	40	245
AMERICA DEL NORTE	10	440	8	535	160	695
AMERICA DEL SUR	300	350	24	635	80	715
URSS	0	325	23	325	30	355
TOTAL	495	2,340	82	3,155	1,077	4,230

LA SUPERFICIE POTENCIALMENTE CULTIVABLE que puede producir sin riego constituye el 22 por ciento de la superficie total de la tierra, descontando los hielos. Unos 495 millones de hectáreas se hallan en las zonas tropicales húmedas, otros 2340 millones de hectáreas están fuera de éstas. Hay agua disponible para regar otros 80 millones de hectáreas, que podrían producir una cosecha al año. Sin contar los campos cultivables sin disponibilidad de agua (unos 200 millones de hectáreas en el mundo), la relación entre superficie potencialmente arable y superficie total en Africa, Asia y Norteamérica es la típica del mundo considerado como un todo, a saber: una hectárea por cada cinco, aproximadamente. En Australia, Nueva Zelanda y la URSS, la proporción es menor: alrededor de una hectárea por cada seis o siete. Por el contrario, en Europa, más de una hectárea por cada tres es arable; en América del Sur la proporción se aproxima a las dos por cada cinco. Allí en donde las condiciones climáticas lo permiten, puede recogerse más de una cosecha por año. Las columnas en cuya cabecera figura la expresión "superficie cultivable bruta" indican el potencial; las cifras citadas en las citadas columnas, se refieren a la superficie potencialmente cultivable, multiplicado por el número de cosechas que podrían darse cada cuatro meses.

du Pont de Nemours & Company, entre otros, la fijación biológica anual en suelos agrícolas contabiliza casi 90 millones de toneladas: 35 millones de toneladas en cosechas de leguminosas, 9 millones de toneladas en cultivo de plantas no leguminosas y 45 millones de toneladas en praderas y pastos permanentes. Probablemente, otros 45 millones de toneladas de nitrógeno atmosférico se fijan anualmente por descargas eléctricas, por la acción del ozono y por combustión (entre los cuales, los incendios forestales); una parte de este nitrógeno se deposita en los terrenos de cultivo. Se ha calculado que hacia el año 2000, se utilizarán en la agricultura mundial 106 millones de toneladas de nitrógeno fijado químicamente –cuatro veces la cantidad de 1974– precisándose de 250 a 300 millones de toneladas de combustibles fósiles. Lo que corresponde aproximadamente a un 4 por ciento del consumo actual de combustible. En 1976, al precio de 200 a 250 dólares la tonelada de nitrógeno fijado, el coste del abono nitrogenado sería aproximadamente de 32 a 40 mil millones de dólares, de los que el coste del combustible fósil estaría entre los 15 a 20 mil millones de dólares. Lo que vendría a equivaler a una pequeña fracción del valor estimado, de 300 mil millones de dólares, de la producción agrícola correspondiente a la aplicación del abono.

La agricultura precisa energía mecánica para transportar el agua para el riego, para cultivar, plantar y cosechar los campos, para transportar los abonos hasta la explotación y para otras muchas finalidades. En la agricultura tradicional, la mayor parte de la energía mecánica se saca del trabajo humano y de los animales de tiro; en la agricultura moderna la principal fuente primaria de energía es generalmente combustible fósil o fuerza hidroeléctrica. David Pimentel y sus colegas de la Universidad de Cornell han demostrado que donde se utilizaban de forma eficaz los fertilizantes químicos y maquinaria agrícola, contando también las bombas de riego, en la agricultura moderna de países desarrollados, la energía de combustible fósil total requerida para la producción cereal –que es el producto agrícola primario en la mayor parte del mundo– constituye la mitad de la que existe en las semillas de los granos. En los países desarrollados, sin embargo, los productos animales (carne, huevos, leche, mantequilla y queso) son los componentes principales del sistema alimentario. Los animales convierten solamente de un 10 a un 20 por ciento de la energía que existe en su pienso en energía contenida en el despiece que llega al hombre. Además, en la cría y mantenimiento del animal se gasta una cantidad notable de energía. Por ello, tal como ha indicado Pimentel, la energía invertida en producir leche, huevos y carne en la agricultura de los países desarrollados es, a menudo, varias veces mayor que la energía contenida en los productos comestibles.

Los elevados precios actuales y el agotamiento previsible de combustibles fósiles lleva a la necesidad de plantearse seriamente la cuestión de si la agricultura que implica un enorme gasto energético, cual es la que priva en los países desarrollados, puede extenderse a otras partes del mundo, o si cabe prolongarla durante mucho tiempo en cualquier país. En principio, la mayor parte o quizás toda la energía que necesita una agricultura moderna de alto rendimiento podría ser proporcionada por los mismos agricultores. Por cada tonelada de grano cereal hay una o dos toneladas de restos, inaprovechables para la alimentación humana, con un contenido energético considerablemente mayor que la energía del grano. Aunque sólo fuera la mitad de esta energía la que pudiera recuperarse, por producción fermentativa, transformada en metano o alcohol, el requerimiento energético de la agricultura moderna quedaría totalmente satisfecho, incluyendo en ese totalmente la energía empleada en la producción de fertilizantes químicos.

En los sistemas alimentarios tradicionales, y también en los modernos, la energía gastada en la elaboración, distribución y cocinado es mucho mayor que la energía gastada en la producción del alimento. Por ejemplo, en la India rural, se consume casi el doble de energía combustible en cocinar un kilo de arroz por unidad de energía alimenticia del mismo. Los cálculos de John S. Steinhard, de la Universidad de Wisconsin, y Carol E. Steinhard, acoplados al modelo de Pi-

	1970			2000		
	SUPERFICIE CULTIVADA (MILLONES HECTAREAS)	POBLACION (MILLONES)	SUPERFICIE CULTIVADA POR PERSONA (HECTAREAS)	SUPERFICIE BRUTA POTENCIAL CULTIVABLE (MILLONES HECTAREAS)	POBLACION PREVISTA (MILLONES)	POTENCIAL BRUTO SUPERFICIE CULTIVABLE (HECTAREAS/PERSONA)
AFRICA	165	345	.48	995	750	1.33
ASIA	475	2,055	.23	1,100	4,090	.27
AUSTRALIA NUEVA ZELANDA	20	20	1.00	125	35	3.57
EUROPA	150	460	.33	245	580	.42
AMERICA DEL NORTE	240	320	.75	695	530	1.31
AMERICA DEL SUR	80	190	.43	715	440	1.63
URSS	230	245	.94	355	340	1.04
TOTAL	1,360	3,635	.37 (PROMEDIO)	4,230	6,765	.62 (PROMEDIO)

LA SUPERFICIE CULTIVADA POR PERSONA podría incrementarse, en todas las partes del mundo, desde hoy hasta el año 2000. De las 1360 millones de hectáreas bajo cultivo en 1970, sólo una reducida fracción produjo más de una cosecha al año. La superficie potencialmente cultivable, en bruto, que alcanza los 4230 millones de hectáreas previstas para el año 2000, es una cifra que podría conseguirse si se obtuviese más de una cosecha por año, en casi un tercio de los 2900 millones netos de hectáreas de cultivo. Asia presionará fuertemente para explotar el potencial por persona asignado. Africa y América del Sur ofrecen más oportunidades ideales para la expansión agrícola.

mentel sobre el gasto energético en la agricultura, muestran que en los Estados Unidos se consume el doble de energía fuera de la explotación en la elaboración, embalaje, transporte, distribución, refrigeración y cocinado, que la cantidad gastada en el cultivo. En ambos países, Estados Unidos y la India, las exigencias energéticas a largo plazo de todo el sistema alimentario podrían presentar problemas más serios que el mero abastecimiento energético de la producción agrícola.

Los tres factores biológicos fundamentales en la agricultura son: el acervo genético de las plantas de cultivo y de los animales domésticos; los diversos tipos de microorganismos y, por último, lombrices de tierra, insectos y otros organismos mayores que modifican y airean el suelo. Sólo una pequeña fracción de las especies vivientes, vegetales y animales, ha sido domesticada para que desempeñe un papel en el sistema alimentario humano: cereales y leguminosas, ciertos tubérculos y un número relativamente bajo de vegetales, frutas y frutos secos, entre las plantas; entre los animales, rumiantes, ganado porcino y aves de granja. Estas pocas especies domesticadas han alcanzado una alta especialización a través de varias generaciones de mejora controlada. Son muy distintas de sus antepasados silvestres, sobre todo en lo que respecta a vulnerabilidad ante las enfermedades y las epidemias. Uno de los mayores problemas con que se enfrenta la agricultura moderna es la retención de una amplia diversidad en el acervo genético de las especies domésticas y la preservación de los genes de sus correspondientes silvestres; de esta forma se posibilita la mejora de nuevas variedades resistentes a organismos patógenos mutantes y a epidemias recurrentes, como las que aparecen en distintas partes del mundo.

Además de las bacterias y de las algas azules que fijan el nitrógeno, otros componentes de interés vital en el sistema alimentario es la flora bacteriana de la panza de las vacas, ovejas y cabras; también importan los microbios del suelo, hongos y bacterias, que realizan múltiples cometidos, y los microorganismos que pueden ser utilizados para la elaboración de alimentos por fermentación. Una de las asociaciones simbióticas más rentables para el hombre es la que existe entre los animales rumiantes y las bacterias que viven en su panza. Estas bacterias pueden transformar la celulosa, a la cual no puede metabolizar el organismo humano, en azúcares y otros glúcidos, que sí puede metabolizar el hombre. Las bacterias también elaboran aminoácidos, que son las subunidades de las proteínas, a partir de compuestos simples nitrogenados. Como resultado de ello, los rumiantes pueden producir alimentos nutritivos para el hombre a partir de una dieta de hierba, hojas, residuos orgánicos e incluso excrementos humanos y animales, juntamente con ciertos compuestos simples, como la urea. En la agricultura tradicional y en el pastoreo, los rumiantes representan también un medio de almacenamiento y transporte de recursos alimentarios. Proporcionan, además, la mayor parte de la energía mecánica que se emplea en el cultivo de la tierra.

Un gramo de suelo fértil puede contener miles de protozoos y algas, un millón de hongos y más de 10 millones de bacterias. Desde hace tiempo se sabe que los enzimas y los ácidos elaborados por las bacterias liberan fosfatos y otros nutrientes vegetales a partir de los minerales del suelo, pero hasta hace muy poco no se había reconocido la importancia de ciertos hongos. Los hongos constituyen micorrizas, y así se unen a las raíces de los vegetales. Tales hongos descomponen la materia orgánica e incorporan los productos en su micelio. Después, los minerales y los nutrientes orgánicos pasan a la raíz de la planta a través de las micorrizas. Tal como apuntó F. W. Went de la Universidad de Nevada, este proceso puede ser de particular importancia en suelos tropicales con una lixiviación deficiente, donde el crecimiento de la planta depende del reciclaje de los nutrientes, de materia orgánica muerta a materia orgánica viviente, y en donde la misión principal del suelo se reduce a sostener la estructura vertical de la planta. Otros microorganismos del suelo fabrican antibióticos y compuestos orgánicos promotores del crecimiento, tal como el ácido beta-indolacético y las giberelinas. Went observó que, en las regiones áridas, las capas superficiales de los suelos arenosos estaban enlazadas entre sí por hongos microscópicos, que frenan la erosión producida por el viento.

En el sistema alimentario humano, la prevención de pérdidas de alimento por podredumbre es de importancia crítica. En los países ricos hay suficiente disponibilidad de energía para evitar que se pudran utilizando cámaras refrigeradoras; en los países pobres debe recurrirse a métodos menos costosos. Entre los más generalizados se encuentran diversos procesos de fermentación por microorganismos, que mantienen las propiedades nutritivas y de edibilidad de los alimentos todo el tiempo que sea necesario. En el proceso de fermentación no solamente se añade un sabor distinto, que es en sí apreciado, sino que también suele incrementarse el contenido en riboflavina y otras vitaminas. La col áci-

TIPO DE INVERSION	COSTE (MILES DE MILLONES DE DOLARES)
INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DE POZOS EN 2.700 METROS CUBICOS POR SEGUNDO	3.75
CANALES Y DEPOSITOS DE SUPERFICIE	16.50
ELECTRIFICACION DE POZOS	4.50
NIVELACION, ALLANAMIENTO Y DRENAJE DE TERRENOS	7.50
FERTILIZANTES VEGETALES (550 MILLONES DE TONELADAS AL AÑO)	1.80
CONTROL DE INUNDACIONES Y MEJORA DE DRENAJE	5.00
INVESTIGACION Y EXTENSION; FABRICAS DE HERRAMIENTAS MAQUINARIA E INDUSTRIAS DE PESTICIDAS; ESTUDIOS DE MERCADO; ALMACENAMIENTO	2.50
TOTAL	46.55

FUERTES INVERSIONES DE CAPITAL habrá que reunir para incrementar el rendimiento de las cosechas en las regiones más aptas. En el gráfico se detallan las inversiones que se precisarían para optimizar una producción agrícola en 50 millones de hectáreas, en la India. Para nutrir la población mundial del año 2000 tendrán que realizarse muchas inversiones de este tenor en Asia, Africa y América del Sur para transformar terreno cultivable en explotaciones capaces de producir varias cosechas al año. El coste de dicha modernización podría sobrepasar los 700 mil millones de dólares.

da y el yogur son productos de fermentación corrientes en las comidas americanas; en países asiáticos se comen, entre otros, tempeh, ragi, sufu, shoyu, and-kak, té, hongos y mizo.

Hace más de un siglo; Charles Darwin destacó la importancia de las lombrices de tierra en la aireación y removido del suelo; calculó que cada dos años transportaban un centímetro de subsuelo a la superficie. Desde los tiempos de Darwin no se ha prestado gran atención a las valiosas actividades de los gusanos y de otros pequeños animales del suelo. Un investigador de Nigeria comprobó que la remoción del suelo por lombrices corresponde a una capa de casi un centímetro de grosor, depositada en el transcurso de seis meses durante la época de crecimiento.

En la mayoría de las regiones, la modernización de la agricultura exigirá una gran inversión de capital. En muchas zonas será preciso construir presas, diques, canales y viaductos para almacenar, encauzar y distribuir las aguas de los ríos para el riego. En otras zonas, habrá que construir grandes pozos con bombas de motor para extraerlas de las minas subterráneas, alimentadas por la lluvia y los desagües. Aunque no se precise irrigación, los terrenos de cultivo tendrán que drenarse convenientemente, lo que suele comportar la nivelación del terreno y la construcción de canales de drenaje o drenados subterráneos. La mayoría de los países en vías de desarrollo necesitan una red viaria que enlace las explotaciones agrícolas con los mercados para el transporte de fertilizantes y maquinaria hasta el campo y para transportar las cosechas. La productividad por hectárea crecerá si los terrenos de cultivo se allanan o nivelan, y, en muchos sitios, habrá que construir terraplenes y diques de contención. En los países en vías de desarrollo se precisan para el almacenamiento de las cosechas un gran número de estructuras que las defiendan de los animales invasores y de la humedad, así como mejores mercados. Deben establecerse estaciones especializadas para multiplicar semillas de variedades de cultivo de alto rendimiento.

Gran parte de las operaciones que exigen capital pueden llevarse a cabo, en los pobres y densamente poblados, por medio del trabajo humano y con poca maquinaria moderna; así se aliviaría el nivel de paro rural y el de subempleo. Por otra parte, hay que destinar una fuerte inversión en maquinaria y materiales para la producción de abonos químicos, pesticidas y para utillaje agrícola. Durante los próximos 25 años se necesitarán unas 400 instalaciones de abono nitrogenado, con una capacidad de producción de 1000 toneladas de amonio, que serían las requeridas por día o la correspondiente cantidad de urea. El costo global alcanzará, cuando menos, los 40 mil millones de dólares. En 1967, el equipo para suministro de alimentos del Science Advisory Committee del presidente Johnson calculó que para doblar la producción de las tierras usualmente cultivadas en Asia, Africa y Latinoamérica se requería la construcción de instalaciones de pesticidas de un valor superior a 1000 millones de dólares. En dólares actuales, el coste se multiplicaría por dos.

En las áreas tropical y subtropical, en donde están localizados la mayoría de los países en vías de desarrollo, el clima permite obtener hasta tres cosechas al año, siempre que el campo disponga del agua suficiente y el suelo no se encuentre en una situación de lixiviación excesiva. Además de incrementar grandemente la producción de alimentos, las cosechas múltiples comportan un aumento y una estabilización de los puestos de trabajo. Las cosechas anuales dobles y triples serán viables, sin embargo, en la hipótesis de que se reduzca el tiempo invertido en la preparación del campo, entre la recolección de la sementera y la siembra de la cosecha inmediata siguiente. Para acelerar el arado y el cultivo, la tracción actual por animales de tiro debe complementarse con tractores pequeños. Si las cosechas se han de recolectar durante la época de las lluvias, se necesitarán igualmente secaderos mecánicos. En estaciones experimentales de Pakistán, la India y de otros lugares se ha podido observar que dicha maquinaria agrícola, juntamente con motores, bombas y entubados para pozos, puede construirse por pequeñas industrias del metal en los pueblos del campo con el acero y otros metales que le suministren talleres centrales.

En la agricultura tradicional, cada población era autosuficiente en muchos aspectos, las instituciones sociales vigentes en la misma, injustas y discriminatorias con frecuencia, se habían forjado con la experiencia de siglos. La agricultura moderna exige nuevas instituciones: bancos que otorguen créditos a unos tipos de interés relativamente bajos y en los que los agricultores puedan invertir sus ahorros, cooperativas agrícolas para la venta y distribución de materiales del campo y mercados para los productos agropecuarios; sistemas de posesión de la tierra y tenencia de la misma que ofrezcan una seguridad al agricultor arrendatario y al pequeño propietario con dificultades con deudas, sistemas de extensión agraria que ayuden en la adopción de las nuevas tecnologías; política gubernamental de precios que supongan un aliciente para los agricultores a fin de que potencien su producción, mecanismos para la distribución y venta de los bienes de consumo con especiales ventajas para los agricultores; escuelas de fácil acceso y buena dirección para los hijos en las que puedan seguir la enseñanza primaria y sistemas de comunicación entre la ciudad y el campo que ayuden a romper los aislamientos de la costumbre.

En las sociedades de agricultura tradicional, los principales factores sociales de producción era le eficacia del trabajo humano y la habilidad heredada. Estas sociedades podían considerarse como un ecosistema parcialmente cerrado, en el que la mayor parte de energía obtenida por hombres y animales a partir de la fotosíntesis se consumía en el cultivo y en la preparación de alimentos; éstos a su vez, aportaban la energía esencial para cosechar más alimentos, y así sucesivamente en un ciclo sin fin. Tales ecosistemas se interrumpieron por el rápido crecimiento de la población. Según mis cálculos casi el 40 por ciento de la energía alimenticia, contenida en las dietas de hombres, mujeres y niños de más de 10 años, se gasta la India rural en el mantenimiento del sistema alimentario. La modernización agrícola debería proponerse como uno de sus objetivos aliviar ese potencial energético humano, o bien, en términos económicos, reducir la importancia del trabajo humano como factor de producción agrícola.

Una manera de realizarlo sería incrementar los conocimientos científicos de biología vegetal y animal y de edafología; así como transformar los avances científicos en conocimientos prácticos al alcance de los agricultores. El sistema mundial de instituciones dedicadas a la investigación agrícola es un poderoso mecanismo para realizar ambas tareas. De todas formas, hay que complementarlo con un énfasis mucho mayor en la investigación de biología fundamental. La biología agrícola podría ser el punto de partida de una gran revolución

basada en las nuevas técnicas de recombinación genética, entre las cuales se cuentan la hibridación entre genes de diferentes especies, y de la genética de células somáticas que da cuenta de la manipulación de células individuales en cultivos especiales.

Virginia E. Walbot, de la Universidad de Washington, describió las dramáticas posibilidades de la recombinación y de la genética de células somáticas. Actualmente los programas de hibridación de cosechas, la selección de caracteres útiles, como la resistencia a las epidemias o la tasa elevada de crecimiento a temperaturas distintas de la normal, alcanzan a decenas de miles de plantas. Se requiere por lo menos una cosecha para encontrar la línea genética deseada, seguida de varios años más para alcanzar el adecuado reservorio de semillas. En la genética de células somáticas, se pueden introducir millones de células en un simple tubo de ensayo; y el tiempo de generación se mide en horas o días, no en meses o años. Las células resistentes pueden seleccionarse en una sola generación; las celulas seleccionadas pueden reproducirse por clones y crear un gran número de individuos iguales en pocas semanas. Ya es posible regenerar plantas eficazmente reproductoras a partir de células seleccionadas, o a partir de pequeños fragmentos de tejido en una docena aproximadamente de especies, entre las cuales se hallan la zanahoria, el tabaco y el maíz. Dentro de las próximas décadas podríamos asistir a la introducción de materiales genéticos específicos en una célula de cereal que determinase el contenido proteico y composición de la semilla, la eficacia fotosintética, la repartición del producto fotosintético entre semilla comestible y resto de la planta y la capacidad de fijación de nitrógeno.

Uno de los descubrimientos más importantes de los últimos años fue observar que a plantas distintas corresponden diferentes mecanismos para la fijación de carbono. La fotosíntesis del arroz y del trigo produce moléculas con tres átomos de carbono, mientras que la del maíz y el sorgo produce moléculas con cuatro átomos de carbono; las primeras se denominan plantas C_3 y las segundas C_4. Las plantas C_4 muestran mayor eficacia fotosintética y menor fotorrespiración; es decir, pueden absorber y utilizar más luz solar, y perder menos productos de fotosíntesis por vía de oxidación durante las horas de luz. Las plantas C_4 están especialmente bien adaptadas a altas temperaturas; las plantas C_3 se desenvuelven mejor a temperaturas bajas. Muchas especies originarias del desierto han desarrollado un tercer sistema para captar anhídrido carbónico de la atmosféra durante la noche; se trata del metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), expresión debida al hecho de que se descubrió y estudió en las *Crassullaceae,* una familia de plantas carnosas. Gracias a ese mecanismo las plantas pueden reducir drásticamente las pérdidas de agua durante el día.

La manipulación genética permite combinar las características del CAM con las del sistema C_4, o combinar características del arroz o del trigo con la mayor eficacia fotosintética de las plantas C_4. Para el año 2000 se habrán creado 2000 especies de cultivo completamente nuevas, resultantes de la aplicación de la investigación genética. Una especie nueva ideal de cultivo estaría dotada de las siguientes cualidades: produciría la parte comestible de la planta con una eficacia fotosintética dos o tres veces mayor que la que tiene cualquiera de las que produce grano; fijaría su propio nitrógeno, y lo haría en las hojas con preferencia a las raíces; la proteína de la parte comestible tendría el equilibrio en aminoácidos necesario para los seres humanos y la planta ahorraría agua, es decir, evapotranspiraría mucho menos agua por unidad de producto comestible que los cereales actuales; sin embargo, tendría el aspecto y el gusto de los cereales actuales y podría transformarse en pan o pasta. (Es sabido que los hombres son muy conservadores en sus hábitos alimentarios.)

Tal como indica el anterior ejemplo, muchos factores de la producción son, o podrían ser, intercambiables. Las nuevas especies hipotéticas de cereales requerirían menos terreno de cultivo, menos irrigación acuosa y menos abono nitrogenado que cualquier cosecha actual para rendir la misma cantidad de energía contenida en la substancia comestible. Sin embargo, dada la naturaleza dispersa de la energía solar capturada en la fotosíntesis y la necesidad de todas las plantas de evapotranspirar agua, seguirá necesitándose terreno cultivable y bien irrigado.

El requerimiento fisiológico medio del organismo humano en el apartado de energía alimentaria es menor que 2500 kilocalorías por día, es decir, aproximadamente la cantidad de energía alimentaria contenida en 700 gramos de trigo, arroz o maíz. En el Midwest estadounidense, la cosecha media de maíz por hectárea suele superar las 240 fanegas, que, en substancia comestible, son más de 600 kg. Esta cantidad corresponde a unas 60.000 kilocalorías de energía alimentaria por hectárea al día. En otras palabras, se puede alimentar a 24 personas con una hectárea de un terreno de gran rendimiento y que sea trabajado a un nivel de tecnología comparable al del Midwest norteamericano. Por extrapolación, y haciendo lo mismo en otros cultivos, la población mundial actual de cuatro mil millones podría ser nutrida por 170 millones de hectáreas. Actualmente se cultivan, en todo el mundo, mil cuatrocientos millones de hectáreas destinadas al suministro de alimento, fibra y otros productos agrícolas. Lo cual equivale a una hectárea de campo cultivado por cada 2,9 individuos. Existen varias razones que explican que el área de cultivo real por persona sea ocho veces el mínimo calculado. El terreno cultivado durante cualquier año oscila entre la mitad y las dos terceras partes del terreno total cultivable, el resto se deja en barbecho, con forrajes o destinado a pastos. Cuando no se aplican abonos químicos hay que dejar descansar muchos campos durante un año o más para que recuperen su fertilidad.

Casi un 10 por ciento del área cultivada se siembra de vegetales no alimenticios, como el algodón, el tabaco, la goma, el té y el yute. Otra fracción extensa está dedicada a producir alimento para ganado y aves de corral. Algunas especies ganaderas proporcionan energía mecánica para el cultivo de la explotación agrícola; los productos y derivados del resto, a saber, la mantequilla, los huevos, la leche y la carne entran en la dieta humana para su consumo. El ganado y las aves de corral gastan de cinco a diez veces más energía que la contenida en sus partes comestibles. Del 10 al 20 por ciento del alimento vegetal y animal se pierde alterado por las epidemias; la siembra se lleva otra fracción, aunque menor.

Es evidente que la razón principal por la que se cultiva una extensión mucho mayor que el hipotético mínimo de 170 millones de hectáreas, reside en el bajo nivel de rendimiento de las cosechas en la mayor parte del mundo. En vez de las seis toneladas métricas por hectárea cultivada, la media obtenida en la India o en Pakistán por esa misma superficie, supera muy poco la tonelada de trigo o de arroz. Gran parte del te-

rreno comúnmente en cultivo, en todo el mundo, es menos rentable desde una óptica agrícola que los suelos ricos, profundos, llanos y fácilmente laborables del Midwest norteamericano. Y lo que resulta todavía más importante: el nivel de la tecnología agrícola es muy bajo en los países en vías de desarrollo, y ellos cuentan con más de la mitad del terreno cultivado.

La importancia de las características del clima y del suelo se hace evidente en las diferencias en valor agrícola de las cosechas obtenidas en los 48 estados contiguos de la Federación americana. En Illinois y Iowa, este valor se halla por encima de 130 dólares por hectárea de la superficie total del estado; en Delaware y Ohio se encuentra entre 75 y 80 dólares; en Wisconsin, Mississippi, Carolina del Sur, Georgia y Tennessee está entre 35 y 45 dólares y en el Oeste de Virginia, Montana, New Hampshire, Utah, Nuevo México, Wyoming y Nevada no llega a los 10 dólares. El terreno cultivado en Kansas es casi el doble que el cultivado en Indiana, pero el valor total de las cosechas es mayor en Indiana. Se ara el mismo número de hectáreas en Minnesota que en Dakota del Norte, pero el valor de la cosecha es un 70 por ciento mayor en Minnesota. Por otra parte, los mayores rendimientos, en dólares por hectárea de terreno cultivado (entre 1470 y 1700 dólares), se obtienen en Florida, California, Massachusetts y Arizona, cuatro estados que difieren mucho en el tipo de suelo, de clima y en los cultivos. Las principales ganancias agrícolas de Florida se sacan de las naranjas, toronjas, tomates y caña de azúcar; en California se cultiva la vid, heno, tomates y lechugas; Massachusetts produce arándano, heno, tabaco y manzanas; Arizona, algodón, lechugas, heno y trigo. Es evidente que, con una administración adecuada, suficiente inversión de capital y mercados satisfactorios, pueden obtenerse cosechas de alto rendimiento en gran parte de los Estados Unidos, pese a la gama de climas y suelos.

La superficie de la tierra, exceptuadas las áreas recubiertas de hielo de la Antártida y Groenlandia, es de 13 mil millones de hectáreas. De este total 2600 millones de hectáreas no son cultivables porque las temperaturas están por debajo del punto de congelación durante nueve o más meses del año. En otros 1900 millones de hectáreas no llega a tres meses al año la duración de las condiciones de una humedad adecuada, por agua de lluvia y nieve o por agua reservada, que iguale o exceda a la evapotranspiración potencial de plantas y suelo, y donde no existen medios prácticos para el riego. Por tanto, el clima solamente ya limita el área potencial arable a 8500 millones de hectáreas. El equipo responsable del suministro de alimentos del Science Advisory Committee determinó, después de un intenso estudio en 1967, que únicamente podían cultivarse unos 3200 millones de hectáreas del total de 13 mil millones de hectáreas de la superficie de la tierra, libre de hielo. Las limitaciones se deben al clima y a la morfología del terreno. El equipo dividió los suelos del mundo en 13 amplios grupos geográficos. En seis de los cuales, correspondientes al 75 por ciento de la superficie de la tierra, el terreno no es apto para el cultivo. El grueso de la superficie no roturable, 2,6 millones de hectáreas, son regiones montañosas o áridas donde el suelo es rocoso o está cubierto con piedras y litosuelos superficiales. Los suelos desérticos no cultivables cubren 1700 millones de hectáreas. Los podsuelos, con gran lixiviación, ácidos y con predominio arenoso de las regiones de bosques de la zona fría, representan 1600 millones de hectáreas de terreno inexplotable. Otros 700 millones de hectáreas de suelo arenoso indiferenciados, llamados regosuelos, tampoco son cultivables y los 500 millones de hectáreas de la tundra ártica resultan demasiado frías para el cultivo.

Después de las regiones montañosas o áridas rocosas, entre las cuales se ubica el grupo de los litosuelos, el área geográfica más extensa está cubierta por latosuelos: suelos lateríticos, rojizos o pardo-amarillentos, de la sabana y de los bosques de regiones tropicales y subtropicales. Se trata de los suelos cuya lixiviación y meteorización son las más severas de todo el mundo. En muchos de ellos escasean el fósforo y los demás nutrientes minerales, necesarios para el crecimiento vegetal: potasio, calcio, magnesio, sulfato y compuestos nitrogenados. La forma extrema de latosuelos es la laterita, suelo rico en óxido de hierro que endurece irreversiblemente cuando se seca y se expone al aire. Los latosuelos no cultivables cubren 1400 millones de hectáreas, aunque la mayor extensión cultivable, más de mil millones de hectáreas, se halla también en latosuelos. De todas formas, para cultivos agrícolas de alto rendimiento, estos suelos deben tratarse previamente intensificando los medios para su mejor preparación, como, por ejemplo, echarles calcio para reducir la acidez y metales traza.

Las mayores concentraciones de terreno cultivable se hallan en los suelos de pradera, semiáridos, subhúmedos y húmedos de latitudes medias. Corresponden a los suelos chernozem productores de trigo y suelos brunizem productores de maíz, que cubren 500 millones de hectáreas cultivables. En orden decreciente, siguen los suelos de aluvión, de los grandes valles fluviales de todo el mundo, con 300 millones de hectáreas, real o potencialmente cultivables y los 200 millones de hectáreas cultivables de los grumosuelos negros y las tierras rojas, que son, respectivamente, los productos de erosión de rocas básicas y calcáreas en climas cálidos o calurosos con precipitaciones estacionales muy definidas. Una quinta parte del área, aproximadamente, de los suelos desérticos y una sexta del área de los suelos podzólicos son cultivables; en conjunto, integran 750 millones de hectáreas. Los grupos de suelos restantes representan 400 millones de hectáreas cultivables. Los 3200 millones de hectáreas cultivables cubren el 24 por ciento de la superficie de la tierra, casi 2,3 veces la superficie habitualmente cultivada y más de tres veces la superficie real cosechada cada año. De este total, 300 millones de hectáreas requieren riego incluso para una sola cosecha.

El riego del campo representa el uso principal del agua que el hombre realiza a discreción, pero el volumen de tal operación es muy reducido respecto del suministro disponible. Poco más de 1000 kilómetros cúbicos, es decir, menos del 4 por ciento del flujo fluvial total, riegan actualmente 160 millones de hectáreas; ello representa aproximadamente un 12 por ciento de la superficie cultivada. Cada año se evaporan y transpiran unas 10 veces 1000 kilómetros cúbicos de agua en forma de lluvia y nieve, a partir de los restantes 1200 millones de hectáreas de terreno cultivado de la tierra, lo cual ayuda al crecimiento de alimentos y fibras. La mayor parte del caudal de los ríos fluye hasta el mar sin aprovecharlo apenas el hombre; asimismo, más de la mitad del agua evaporada de los continentes, en particular la fracción de evaporación que ocurre en los bosques húmedos de zonas lluviosas y en las sabanas semihúmedas tropicales, inciden muy poco en la vida humana.

El potencial disponible para el desa-

rrollo de sistemas de riego es, pues, inmenso, pero está limitado por la distribución irregular de los ríos en los distintos continentes y en las distintas zonas climáticas de un mismo continente. Harold A. Thomas, Jr., Peter Rogers y el autor calcularon que a Sudamérica, con menos de un 15 por ciento de la superficie de la tierra, le corresponde una tercera parte de ese caudal de agua, en tanto que Africa, con un 23 por ciento de extensión, posee solamente el 12 por ciento del caudal. El caudal disponible para el sudoeste asiático, Norte de Africa, México, sudoeste norteamericano, zona templada de América del Sur y Australia, es inferior al 5 por ciento del total, a pesar de que estas regiones, globalmente asumidas, constituyen el 25 por ciento de la superficie de la tierra.

Como resultado de la distribución irregular de las aguas, sólo un tercio de las tierras de cultivo con riego potencial pueden regarse en la realidad (ello reduciendo la superficie total potencialmente cultivable a tres mil millones de hectáreas). El incremento potencial del área cultivable bruta (es decir, la suma de zonas potencialmente cultivables multiplicada por el número de cosechas por temporada de cuatro meses que podrían recogerse en cada área) mediante el desarrollo del riego está limitado a 1100 millones de hectáreas. Sin riego podrían darse tres cosechas en 500 millones de hectáreas, situadas en los trópicos húmedos, y dos cosechas en 800 millones de hectáreas, situadas en las regiones subhúmedas. En 1500 millones de hectáreas se podría cultivar una cosecha sin riego. Así pues, la superficie potencial bruta cultivable sin riego es de 4600 millones de hectáreas y, con riego, alcanza los 5700 millones. De este total, sin embargo, 1500 millones de hectáreas pertenecen a la zona tropical húmeda, en donde excepto en la isla de Java y algunos puntos más con suelos profundos y de meteorización reciente, no se suele disponer de una tecnología que permita cosechas de alto rendimiento y a gran escala. En bruto, la superficie potencialmente cultivable, capaz de cultivos de un rendimiento bastante alto con tecnología actual, supera en poco los 4200 millones de hectáreas *(véase la ilustración de la página 126)*.

Un diez por ciento de la superficie de cultivo, en bruto, seguirá siendo necesaria para las plantaciones de fibras, infusiones y otros vegetales no alimenticios habiendo que dejar asimismo un total de 3800 millones de hectáreas de cultivo, en bruto, fuera de la zona tropical húmeda para la producción de alimentos en el futuro. Partiendo de la hipótesis conservadora de que los suelos pobres y la topografía irregular podrían limitar los rendimientos medios a la mitad de los obtenidos en el Midwest de Estados Unidos, se podrían cosechar 11.400 millones de toneladas de grano, o su equivalencia en energía alimenticia, en esta superficie de cultivo potencial bruto; cantidad ésta que sería suficiente para una dieta mínima de 2500 kilocalorías por día para unos 40 mil millones de individuos (con la salvedad de que las pérdidas por epidemias y usos no alimentarios se mantuvieran en un nivel del 10 por ciento de la cosecha).

En adición a los campos de cultivo, 3600 millones más de hectáreas podrían destinarse a pastos del ganado, con una producción anual media de 25 a 50 millones de toneladas métricas de peso vivo. Ello aportaría una media de unos cuantos gramos de proteínas animales por persona y día para la población mundial prevista a finales del siglo XX.

Dado que su clima se lo permite, las mayores extensiones de terreno pueden recoger dos o más cosechas por año; tal máximo potencial bruto de campo cultivable se encuentra en los países en vías de desarrollo de Asia, Africa y América Latina. En tales regiones, y dejando aparte la zona tropical húmeda, podría ararse una superficie, en bruto, de 1100, 995 y 715 millones de hectáreas, respectivamente. Llevar a cabo esta posibilidad exigiría desarrollar un sistema de riego que alcanzara más de 700 millones de hectáreas de cultivo, en bruto, amén de una modernización de los métodos de riego anticuados. Asimismo, habría que contar con aporte nutriente para suelos ácidos, muy lixiviados, y con el uso intensivo de abonos químicos, a fin de evitar los sistemas de barbecho para acumulación de nitrógeno en más de 1500 millones de hectáreas de cultivo, en bruto.

El continente norteamericano sigue inmediatamente a su homónimo del sur en lo que concierne a superficie de cultivo, en bruto, con 695 millones de hectáreas.

Los potenciales menores de expansión se localizan en Australia, Nueva Zelanda, Europa y la URSS. A pesar de su enorme tamaño, el 17 por ciento de la superficie total del globo, la URSS posee solamente 355 millones de hectáreas, es decir, un 8,4 por ciento del área mundial potencial de cultivo, en bruto. El 65 por ciento de este potencial ya se cultiva, frente a un 11 por ciento en América del Sur y un 17 por ciento en Africa. Gran parte de la superficie potencial cultivable, en bruto, se halla en rendimiento en Europa (61 por ciento) y en Asia (43 por ciento).

La densidad de población por extensión de cultivo es hoy mayor en Asia y Europa con 0,23 y 0,33 hectáreas por persona, respectivamente; la menor corresponde a Australia y a Nueva Zelanda, con una media de hectárea por persona *(véase la ilustración de la página 127)*. La URSS cultiva 0,94 hectáreas por persona y Norteamérica 0,75 hectáreas. Africa y América del Sur ocupan un lugar intermedio con 0,48 y 0,43 hectáreas por persona, respectivamente. Si todas las hectáreas potencialmente cultivables, en bruto, pudiesen ararse hacia el año 2000, la superficie de cultivo por persona aumentaría en cada continente, pero sólo de forma marginal en Asia, Europa y la URSS. Aumentaría unas tres veces en Australia, Nueva Zelanda, América del Sur y Africa.

Es obvio que hay que acudir a otros varios recursos, aparte del terreno y del agua, para incrementar la producción mundial de alimentos. Para obtener la producción potencial máxima de la tierra, todos los recursos tienen que estar disponibles en cantidades adecuadas. Por otra parte, de acuerdo con la célebre ley del mínimo de Justus von Liebig, cualquier recurso puede ser limitante. Determinados recursos abundantes pueden substituirse por otros más escasos, pero no existe sustituto para el fósforo del metabolismo animal y vegetal. Por tanto, estamos ante un componente esencial de los abonos aplicados a la agricultura. La mayor concentración de fosfatos que entran en los abonos se recaban de la tierra y se pierden en desechos humanos y animales. De ahí el interés generalizado por un adecuado abastecimiento de fosfatos para el futuro.

En 1968, 7,6 millones de toneladas de fósforo se convirtieron en fertilizantes. Para nutrir la población mundial del año 2000, estimada entre seis mil y siete mil millones, será preciso aumentar en 30 o 40 millones de toneladas la cantidad de fósforo dedicada a abonos. Con la tecnología agrícola actual, un aumento del rendimiento agrícola del 100 por ciento requeriría un incremento del 270 por ciento en la cantidad de fertilizante.

La recuperación potencial del fósforo a partir de las reservas localizadas de rocas con alto contenido en fósforo, al-

canza a 18.000 millones de toneladas métricas; según el ritmo de aplicación del mismo previsto para comienzos del siglo XXI, tales reservas durarían de 450 a 600 años. Se sabe también de la existencia de reservas suplementarias de rocas fosfatadas de menor concentración que, según cálculos de los ingenieros de minas, se sitúan en unas ocho veces la cantidad de fósforo de los yacimientos económicamente rentables hoy. En mucho menor concentración, también se encuentra fósforo en diversos países. En razón de la tecnología previsible para entonces, los elevados costos de extracción de los yacimientos de bajo contenido serían los responsables de la subida de los abonos fosfatados y, por tanto, de la subida del precio de los alimentos. Pudiera ser menos caro recuperar todo el fósforo que se recaba ahora del suelo con los cultivos y con los productos animales, reciclándolo para la producción de alimentos.

Se necesitarán fuertes inversiones de capital para acometer los trabajos de riego y explotar una agricultura de alta producción que cubran los potenciales de los países en vías de desarrollo. En la página 128 se expone el coste calculado para la explotación de 50 millones de hectáreas de riego, en bruto, en la India. En ese continente de larga tradición agrícola, donde ya existe, en gran parte, la infraestructura social precisa, se requieren inversiones de unos 1000 dólares por hectárea. Si quisiéramos fijar la, por otra parte altamente incierta, evolución de los costes en Asia, Latinoamérica y Africa en el mismo nivel que la de la India, se necesitarían más de 700.000 millones de dólares para canalizaciones de sistemas de riego y modernización de la agricultura en esos tres continentes; en cuyo presupuesto entraría también el coste de la adición de calizas y otros suplementos edáficos a los latosuelos de grave lixiviación. Si esta inversión se distribuyese a lo largo de 25 años, el coste anual sería de 30.000 millones de dólares, menos del 1 por ciento del actual producto mundial bruto. Debido a la falta de capital de estos países en vías de desarrollo, gran parte de esta inversión tendría que ir a expensas de los países desarrollados. Ello supondría pagar un precio insignificante por la transformación de las condiciones de vida de los pobres del mundo (una de las condiciones necesarias, a buen seguro, para reducir la tasa de natalidad), que puede conseguirse con la modernización de la agricultura.



Cómo aumentar la producción agrícola

La nueva tecnología de la revolución verde permite mayores cosechas por hectárea de cultivo. El fundamento de esta tecnología se encuentra en la mejora de las plantas adaptadas a las necesidades de un cultivo intensivo

Peter R. Jennings

La respuesta moderna a la profecía de Malthus es el potencial de tecnología agrícola para aumentar la producción, es decir, para obtener más alimento por hectárea de terreno cultivado. Se han conseguido metas importantes en la productividad. Los primeros éxitos a gran escala se recogieron en los países desarrollados de la zona templada, en las décadas del 20 y del 30. En los países tropicales y subtropicales en vías de desarrollo, donde la necesidad de rendimientos más elevados es hoy una exigencia, se ha puesto en marcha un programa exhaustivo para potenciar la producción del campo. Se han realizado ya progresos notables, por lo menos con algunos cereales; tal es el caso del trigo y del arroz. El éxito inmediato de dicho programa dio pie a que éste recibiera el nombre de "revolución verde".

El objetivo central de los esfuerzos encaminados a mejorar la producción estriba en la obtención de nuevas variedades de plantas de cultivo. Como primer paso, se desarrollan las variedades más eficaces por lo que respecta a la producción cuando éstas se cultivan en plantaciones densas y, además, se dispone de abonos, agua y pesticidas. Pueden incorporarse también otras propiedades de interés; por ejemplo, la resistencia a enfermedades y a insectos y la tolerancia a una amplia gama de climas, suelos y otros factores que constituyen el ambiente. En principio, cada carácter hereditario de la planta se halla sometido a la voluntad de su cultivador.

El reciente incremento registrado en la producción de trigo y de arroz, en varios países en vías de desarrollo, da testimonio del poder en potencia de los programas de mejora vegetal. Ahora bien, la investigación en este sector de la agronomía no ha concluido ni siquiera para el caso del trigo y del arroz, ni en realidad podrá darse nunca por terminada. Hay otros muchos cultivos en el mundo subdesarrollado que piden la misma atención. La revolución verde no resuelve el problema del aporte de alimentos a la humanidad. Se trata, preferentemente, de una vía de solución, de un método. Este método podrá tener éxito a condición de que se aplique continuamente a la mejora de cultivos.

La mejora vegetal tiene una larga tradición en las zonas consideradas actualmente como menos desarrolladas: todos los cultivos destinados a la producción de alimentos más importantes fueron domesticados allí. Los agricultores del Neolítico se distinguieron en la observación de las variaciones que existían en las comunidades vegetales, y seleccionaron las semillas de las mejores especies, replantando las variedades más eficaces. La constante presión de selección se aplicó durante miles de años. Las plantas que lograron sobrevivir y reproducirse fueron las favorecidas por el hombre. El progreso no fue rápido, pero, en conjunto, la contribución de los agricultores primitivos no desmerece con el total de los modernos profesionales de la mejora de las plantas.

En el proceso de domesticación, las especies dotadas de una gran variabilidad congénita fueron indroducidas en muy distintos medios, perpetuándose los tipos que se adaptaban mejor a cada zona. Así fue como se crearon miles de variedades distintas, adaptada cada una a un área específica. Muchas de aquellas variedades han llegado hasta nosotros; por ejemplo, se han contabilizado más de 30.000 tipos de arroz. La multitud de variedades que existen hoy es de incalculable valor. Los primeros pobladores de los trópicos fueron en gran parte los responsables de la creación y de la conservación de lo que constituye la mayor fuente de la moderna mejora vegetal: la abundancia de plasma germinal de los cultivos.

Los métodos de mejora ideados por el hombre del Neolítico permanecieron estandarizados hasta el siglo veinte, aunque en las últimas décadas se han aplicado de una manera más sistemática y con un grado mayor de complicación. La técnica se llamó selección de líneas puras. El mejorador empieza con una población heterogénea de plantas; selecciona las semillas de las plantas que, al parecer, poseen las características apetecidas. La semilla germina. Se selecciona de nuevo la progenie de la semilla mejor dotada. A través de pruebas categóricas de las líneas puras, tales como la exposición a la sequía y a la depredación por parte de un insecto determinado, se van

ARROZ DE ALTO RENDIMIENTO plantado en los arrozales experimentales del International Rice Research Institute (IRRI) en Los Baños, Filipinas, en la fotografía aérea de la página opuesta. El IRRI fue el primero de una red de institutos internacionales creados para mejorar la producción de los cultivos de los países en vías de desarrollo. El motivo esencial de tal programa fue el desarrollo de variedades enanas de cereales que respondieran positivamente a la aplicación de abonos. Se cruzaron muchísimas variedades y se evaluaron los tipos genéticos resultantes en razón de su potencial de producción y otras características. La parcelación de los campos obedece a la peculiaridad genética del cultivo: cada franja representa una selección de híbridos de arroz.

seleccionando las variedades más tolerantes y las más resistentes. La selección de líneas puras aporta una mejora considerable cuando se efectúa con diligencia y cuidadosa observación. La principal limitación que se encuentra a este método es el que explote únicamente las combinaciones genéticas que se hallan en la naturaleza. Si se descubre un carácter favorable, sólo puede aprovecharse para la variedad que ya lo tiene, pero ésta puede disponer también de otros caracteres desfavorables. El método de líneas puras no permite transferir un carácter de una línea a otra.

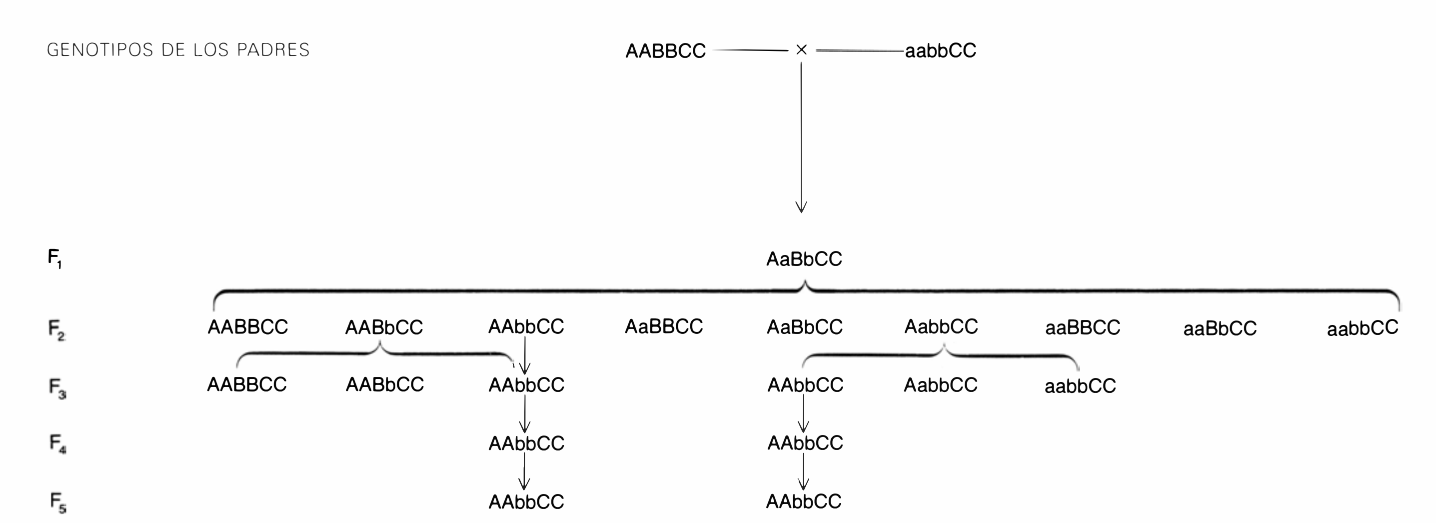
La historia moderna de la mejora vegetal comenzó a principios de siglo con el redescubrimiento de las leyes de la herencia que había formulado Gregor Mendel en la década de 1860. Dichas leyes sostienen que la herencia se manifiesta por una serie de caracteres distintos y discretos determinados por genes. Los genes actúan como unidades que se segregan independientemente durante la reproducción y se redistribuyen al azar, en todas las combinaciones posibles, en la descendencia. Las leyes de la herencia implican la posibilidad de crear nuevas combinaciones genéticas; es decir, nuevas variedades no observadas en la naturaleza.

El fundamento de un programa moderno sobre mejora es la polinización cruzada o hibridación. Para los cereales que se autopolinizan naturalmente, como ocurre con el trigo y con el arroz, el proceso se inicia con dos líneas puras, dotada cada una de ellas de caracteres de considerable valor. Se efectúa la polinización cruzada entre las dos líneas y se cultivan las semillas resultantes; a la descendencia híbrida se le denomina generación F_1.

En esta primera generación filial, F_1, cuando se reproducen mediante autopolinización aparece en la generación siguiente, denominada F_2, una gama muy extensa de variaciones. La generación F_2 contiene un número elevado de genotipos nuevos; pues están presentes todas las combinaciones posibles de los caracteres de los progenitores. Se seleccionan las plantas que han heredado los caracteres deseables de las variedades parentales y, mediante repetidas autopolinizaciones, se cultivan generaciones adicionales (designadas: F_3, F_4, y así sucesivamente). En cada generación, se hacen selecciones adicionales, eliminándose los genotipos menos favorables. A medida que prosigue la selección, la población se hace más estable; aproximadamente en la generación F_6, las líneas seleccionadas son las verdaderamente mejoradas. A partir de la generación F_2, se seleccionan las plantas individualmente por su resistencia a las enfermedades, altura, calidad y muchas otras propiedades; tales selecciones vienen determinadas por los resultados. A lo largo del tiempo se van realizando ensayos de campo con líneas híbridas en condiciones ambientales diferentes. El resultado final es la selección del genotipo que representa la combinación óptima de los caracteres paternos.

El agricultor dispone de diversas modalidades en el procedimiento básico de hibridación. Por ejemplo, en una línea se puede introducir material genético adicional, cruzando una tercera variedad paterna con un híbrido de la F_1, o bien cruzando dos híbridos distintos de la F_1. También existen ciertas limitaciones, la principal de las cuales se produce cuando en ciertos casos los genes para caracteres distintos están ligados. Esto significa que ambos se hallan uno junto a otro en un mismo cromosoma y, por lo tanto, tienden a heredarse como una unidad. Pero en general, el plasma germinal de los cereales posee una considerable plasticidad, y con tenacidad y recursos suficientes, se puede desarrollar una variedad vegetal con la mayoría de los caracteres deseados.

La mejora vegetal es, en gran parte, cuestión de números. En cada hibridación, cuanto mayor sea el número de líneas híbridas y más plantas crezcan en



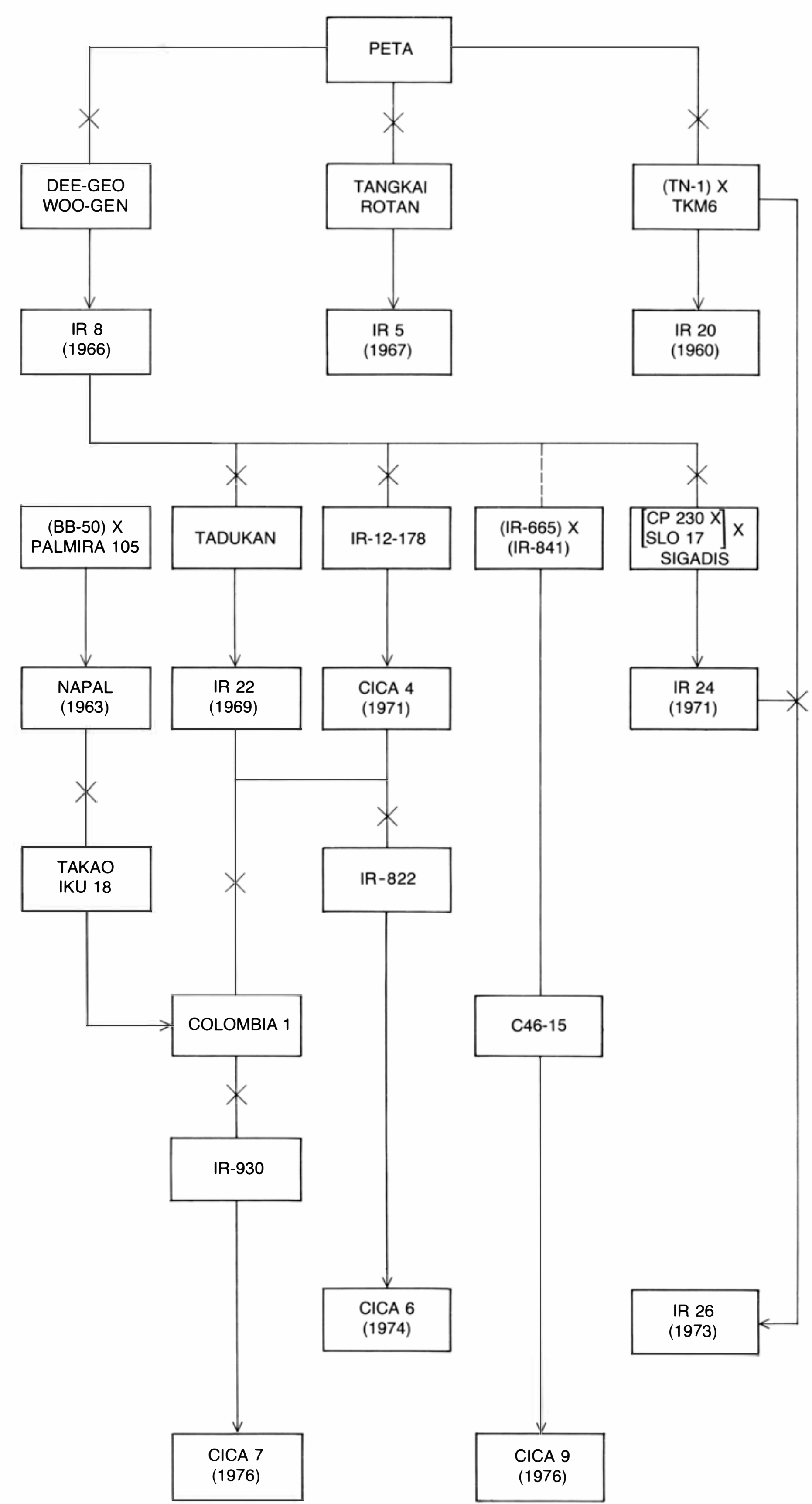
LA CREACION DE HIBRIDOS y la selección entre sus descendientes son las técnicas básicas seguidas en el desarrollo de nuevas variedades de cultivos. En el arroz, el proceso empieza con la polinización cruzada de dos líneas puras. Aquí se presentan las plantas como portadoras de genes para tres caracteres (*A*, *B* y *C*), y se supone que cada gen tiene únicamente dos formas (representadas por letras mayúsculas y minúsculas). A la descendencia de las plantas procedentes de la polinización cruzada se las designa generación F_1; todas estas plantas son idénticas y tienen una porción igual de genes de cada línea parental. Las plantas de la generación F_1 se reproducen por autopolinización, y en su decadencia (la generación F_2) aparece una gran diversidad genética. En el presente caso en que las variedades parentales sólo difieren en dos caracteres (*A* y *B*), la generación F_2 tiene nueve genotipos distintos; las plantas cultivadas generalmente difieren en muchos más caracteres, y debe cultivarse un gran número de ellas a fin de mostrar la multitud de combinaciones genéticas posibles. En la generación F_2, el mejorador de vegetales puede empezar a seleccionar plantas conservando las semillas de las que poseen más caracteres favorables. En las generaciones sucesivas se intensifica la selección, y la población se hace más estable en cuanto existan más plantas genéticamente uniformes. Mediante la hibridación se pueden incorporar las mejores características de muchos tipos de plantas en una sola variedad. En el gráfico aquí representado se ha seleccionado el genotipo AAbbCC que no aparece en ninguna de las variedades parentales.

cada hibridación, mayor será la posibilidad de encontrar especies destacadas entre la descendencia. En los últimos años, los programas de hibridación en los trópicos han llegado a ser muy extensos. Cada año se producen cientos de híbridos, y a partir de ellos se han establecido decenas de miles de líneas de hibridación; se seleccionan y cultivan millones de plantas individuales. Aún más, cabe cultivar dos o tres generaciones al año, bajo distintas condiciones, en un ambiente tropical. Los proyectos de hibridación en Estados Unidos tienden a ser mucho más reducidos. Los programas de los trópicos trabajan con mayor volumen material experimental, y consiguen variedades finales en un tiempo más breve.

Las variedades no mejoradas, tales como trigo, arroz y maíz, propias de un país, no son inferiores de por sí. Dadas sus condiciones de crecimiento, pueden representar la elección óptima entre las variedades disponibles. Es más, los agricultores que las han cultivado durante generaciones no han demostrado ser atrasados ni incompetentes; al contrario, sus prácticas reflejan una estrategia agrícola y económica solventes.

En la agricultura tradicional, la fertilidad del suelo suele ser el factor limitante del crecimiento. El nitrógeno, en particular, está frecuentemente poco disponible; y esta deficiencia es más grave en los suelos tropicales que en otras partes. Las variedades de cultivos nativos extraen con gran eficacia nitrógeno y otros nutrientes del suelo. Desarrollan extensos sistemas radiculares, que cubren grandes espacios; muestran un desarrollo vigoroso, perdiendo las malas hierbas en su competición por los nutrientes disponibles. Al haber sido mejoradas por los métodos tradicionales de selección durante miles de años, han ido adquiriendo una justa (aunque limitada) adaptación a las condiciones locales; entendiendo por éstas, las peculiaridades del suelo, el suministro de agua, la duración del período de crecimiento, las temperaturas medias y extremas y el fotoperíodo, o número de horas de luz diaria, que se dan en función de la latitud.

Raras veces una variedad nativa de un cultivo es una línea pura; en cambio, es una población en que todos los miembros pueden tener unas características morfológicas similares con genotipos diferentes. Las poblaciones de esta clase se denominan razas del país. Su diversidad genética resulta de gran valor para el agricultor tradicional, ya que confiere



LA GENEALOGÍA de las modernas variedades de arroz seleccionadas muestra una secuencia compleja de hibridaciones. La mayoría de las variedades modernas son plantas enanas o semienanas, que pueden cultivarse en poblaciones densas y abonarse abundantemente para obtener elevados rendimientos. Aquellas cuyos nombres empiezan con las letras IR se obtuvieron por el IRRI; las que lo hacen con las letras CICA son resultados de la colaboración de organismos nacionales e internacionales en Colombia. El primero de los tipos modernos ampliamente adoptado ha sido el IR 8; se consiguió por cruce de Peta, un arroz indonesio alto, conocido por su crecimiento vigoroso y otras propiedades favorables, con Dee-Geo Woo-Gen, una variedad enana procedente de Taiwan.

al menos una resistencia parcial a la depredación por insectos y a las enfermedades, y una tolerancia considerable a los factores ambientales, tales como la sequía. Si un cultivo se ve atacado por una determinada enfermedad, algunas líneas de la raza del país caerán, pero otras pueden tornarse resistentes y sobrevivir.

Es más. La no uniformidad de la población vegetal tiende a limitar el mayor número de organismos productores de plagas y enfermedades, y de este modo prevenir fracasos desastrosos en las cosechas. El efecto neto de este sistema agrícola es dar al agricultor un sistema de seguridad. La estrategia particular de una agricultura de subsistencia no es obtener grandes cosechas en los años buenos, sino asegurar un mínimo de producción incluso en los peores años.

El fallo principal del sistema agrícola tradicional es que la producción no se puede aumentar significativamente. El único camino eficaz para obtener mayor rendimiento por hectárea es cultivar más plantas por hectárea, lo cual significa obviamente mayor densidad de plantación. Con las especies no mejoradas esto no cabe, toda vez que son de gran tamaño y compiten intensamente por la luz y los nutrientes. El suelo no puede sostener ni siquiera una población adicional de una plantación más densa. Las disponibilidades de nutrientes del suelo se agotarían rápidamente y las plantas no recibirían suficiente luz solar; como resultado de todo ello no se desarrollarían adecuadamente.

La solución al problema del agotamiento de nutrientes son los abonos químicos, entre los que debe destacar un aporte generoso de nitrógeno. Este es el único medio para mantener la máxima densidad de plantación, requerida para una mayor producción. Sin embargo, cuando se cultiva una variedad natural con una gran dosis de fertilizante surgen nuevos problemas. Primero, la mayoría de los nutrientes adicionados no se destinan a incrementar la parte comestible de la planta sino al desarrollo vegetativo de la misma. La superficie de la hoja aumenta considerablemente, y debido a que las plantas están muy juntas, se sombrean unas a otras, como consecuencia, se reduce la eficacia fotosintética de todo el cultivo. Con el caso de los cereales los problemas se complican mucho más. Debido a que la fertilización incrementa el tamaño de las plantas en las variedades tradicionales, la espiga se forma en un tallo más alargado. Mucho antes de que se coseche el grano, ha adquirido demasiado peso para la fragilidad de la caña y, si sopla viento o llueve, se encama; el tallo se dobla o se rompe; el grano cae al suelo y se pierde en su mayor parte.

El problema del encamado y del excesivo crecimiento vegetativo se ha resuelto hibridando variedades enanas y semienanas de los cereales principales. El desarrollo de estas variedades constituye el objetivo principal de la revolución verde. Las plantas enanas tienen hojas cortas y erguidas; por consiguiente, en una población densa, las plantas no se sombrean unas a otras. El tallo también es corto y rígido, capaz de soportar hasta la madurez una espiga llena de granos. El sistema radicular es relativamente pequeño pero no se requiere un sistema extenso de raíces porque la fertilización asegura un suministro adecuado de nutrientes. El uso de fertilizantes es esencial para el cultivo de las nuevas variedades; sin su aplicación, éstas no serían mejores que los tipos tradicionales y podrían resultar peores. Aunque algunas variedades manifiestan una amplia resistencia a las enfermedades y a las plagas, hay que protegerlas con pesticidas químicos y arrancar las malas hierbas y procurar no les falte el agua. Estas necesidades se suman al coste de las faenas agrícolas, pero la inversión se ve compensada rápidamente por el incremento de productividad.

La transformación de la agricultura tropical empezó en 1943 en México, con la aplicación de un proyecto cooperativo subvencionado por la Fundación Rockefeller y el gobierno de México. El proyecto se proponía incrementar la producción de los alimentos. En un principio se dio más importancia a la mejora del trigo de primavera. Los métodos y el modo de organización empleado en

LA RESPUESTA AL ABONO es el factor más importante que contribuye a la mejora de las cosechas de cereales. La respuesta es claramente diferente para IR 8 *(color)*, **una variedad enana moderna, y Peta, un tipo alto tradicional. En ausencia de abonos nitrogenados, Peta puede ser superior a IR 8, pero la producción de ambas variedades es baja. Sin embargo, cuando Peta es abonada abundantemente, llega a ser demasiado alta y el tallo no puede soportar el peso del grano. La planta se halla expuesta al encamado; el tallo se dobla o se rompe y el grano cae al suelo, reduciendo la producción. IR 8 tiene un tallo corto y firme, y mantiene el grano en alto hasta su cosecha.**

este problema inicial han influido notablemente en su posterior aplicación en cualquier otro país.

Se formó una pequeña comisión, integrada principalmente por mexicanos y que incluía especialistas en varias disciplinas (especialistas en genética y mejora vegetal, fitopatólogos, edafólogos, entomólogos y agricultores) y expertos en comunicaciones que servían de intermediarios entre el centro de investigación y las estaciones en funcionamiento. Se consiguió un éxito sencillo y práctico: un rápido y espectacular incremento en la producción nacional de trigo. Los demás puntos quedaron subordinados a esta finalidad. Característica importante del programa mexicano fue la formación de equipos interdisciplinarios, en los que cada miembro contribuía con la experiencia de su propia especialidad. Este enfoque de la investigación agrícola difiere del seguido por la mayoría de los institutos norteamericanos, donde los mejoradores de plantas trabajan aislados en su individualismo. En México el papel relevante de los equipos interdisciplinaríos posibilitó el éxito del programa. Se adoptó el mismo plan de organización en la mayoría de los proyectos de mejora en los trópicos.

El equipo mexicano del trigo emprendió inmediatamente la reunión de recursos genéticos. Se adquirieron líneas de trigo de todas las regiones del hemisferio oeste y del este de Africa, del Oriente Medio y sur de Asia. Se probaron cruces entre estas líneas y trigos originarios de México, controlando la producción, resistencia a insectos y a enfermedades así como su adaptación, particularmente en lo referente al fotoperíodo y temperatura. El problema crítico del encamado fue resuelto en 1953, con el cruce satisfactorio de variedades semienanas de trigo mexicanas y de América del Norte. Los genes del enanismo en los tipos americanos se derivaban, a su vez, de un tipo de especies semienanas japonesas denominadas Norin. Cuando se introdujo la primera variedad semienana la productividad ya había mejorado substancialmente; los trigos de corta estatura proporcionaron un substancioso incremento adicional en la producción.

En la década de los cuarenta, México importaba la mitad del trigo que consumía con el fin de paliar el déficit de producción; el promedio de producción era de 750 kg por hectárea. En 1956, la nación se autoabastecía en trigo a pesar de su elevada tasa de crecimiento demográfico. En 1970, la producción ascendía a los 3200 kg por hectárea.

Desde el principio del proyecto de mejora del trigo, se llevaron a cabo trabajos de experimentación en otros lugares, en cuyas estaciones se cruzaban las especies mexicanas mejoradas con las variedades locales. A mediados de la década de los sesenta, el éxito de este programa quedó demostrado palmariamente por la amplia adaptación ambiental de las variedades. En los primeros meses de 1966 se exportó gran cantidad de semillas, principalmente a la India, Pakistán y Turquía. Se alcanzaron cosechas óptimas casi inmediatamente.

El segundo gran triunfo de la mejora vegetal en los trópicos se consiguió con el arroz, como resultado de la fundación en 1960 del International Rice Research Institute (IRRI), en Filipinas. El camino seguido fue similar al que había llevado al éxito a México. De nuevo se crearon equipos de investigación interdisciplinarios e internacionales, y de nuevo se dio prioridad a la mejora de la producción en las explotaciones. Se adquirió germen plasmático de todas las naciones que cultivaban arroz; actualmente la colección del Instituto reúne más de 30.000 variedades. Se admitió de inmediato que la primera necesidad sería la obtención de un tipo de arroz de corta estatura que pudiera plantarse en poblaciones densas; así resistiría el encamado y respondería a una fuerte concentración de abonos, potenciándose la producción de la espiga y frenándose el desarrollo del tallo.

Vale la pena considerar con detalle los procedimientos y problemas implicados en tal programa de mejora. Tanto el arroz como el trigo se autopolinizan naturalmente, y la hibridación es un procedimiento delicado que requiere tiempo. Debe abrirse cada florecilla de la planta y quitar las anteras que llevan el polen, antes de que maduren. Después, las anteras de la variedad parental se abren sobre el estigma de cada florecilla; por último, toda la espiga se encierra en una bolsa para protegerla del polen ajeno.

La semilla híbrida resultante que pertenece a la generación F_1 se cultiva generalmente bajo condiciones controladas; pero la F_2, y posteriores generaciones pasan a invernaderos y recintos experimentales, donde se someten a estímulos controlados.

En la F_3, y generaciones posteriores, el comportamiento de todas las selecciones se determina en el campo bajo las condiciones patrón; de esta forma pueden compararse con otras líneas, al tiem-

VARIEDAD	ALTURA	RESISTENCIA A ENFERMEDADES				RESISTENCIA A INSECTOS			PERIODO DE CRECIMIENTO
		AÑUBLO	PODREDUMBRE BACTERIANA	VIRUS DEL ACHAPARR. DEL ARROZ	TUNGRO VIRUS	SALTAMONTES VERDE DE LA HOJA	SALTAMONTES PARDO DE LA HOJA	BARRENILLO	
IR 8	ENANA								120 DIAS
IR 20	ENANA								120 DIAS
IR 26	ENANA								120 DIAS
IR 28	ENANA								105 DIAS

RESISTENTE
MODERADAMENTE RESISTENTE
MODERADAMENTE SENSIBLE
SENSIBLE

LAS PROPIEDADES FAVORABLES incorporadas en las variedades de arroz mediante los programas de mejora del IRRI y otras instituciones comprenden la escasa altura, que tiene un efecto directo en la producción, la resistencia a enfermedades y plagas de insectos y el período de crecimiento corto. IR 28, una variedad introducida en 1974, tiene un amplio espectro de resistencia a enfermedades y plagas y un período de crecimiento más corto que la mayoría de las variedades tradicionales. Debido a la temprana madurez, algunos agricultores pueden cultivar dos cosechas al año, o incluso tres. Otras características alcanzadas por todas o algunas de las nuevas variedades de arroz incluyen insensibilidad al fotoperíodo (número de horas de luz al día), y tolerancia a suelos inhóspitos.

po que se controla el grado de adaptación de las plantas en otras partes del mundo. Si se busca un determinado carácter, tal como la resistencia a un virus conocido, deben llevarse a cabo ciertas observaciones a lo largo de varias generaciones. Los resultados de cualquiera de estos procedimientos indicarán la necesidad de nuevas manipulaciones genéticas. Por último, cuando se haya obtenido una variedad experimental ideal, se debe cultivar en diferentes explotaciones de distintos regímenes geográficos y climáticos; luego se analizará su comportamiento desde el punto de vista agrícola y económico. Debido a que el proceso de obtención es laborioso y exige el cultivo de muchas generaciones de arroz hasta la madurez, la creación de una variedad nueva requiere muchas cosechas sucesivas.

En 1966 el IRRI consiguió las primeras variedades enanas de arroz que inmediatamente transformaron los arrozales de Filipinas, adoptándose pronta y ampliamente en las regiones bajas de Asia. Una variedad en particular, denominada IR 8, alcanzó gran celebridad. Tiene potencial para una producción elevada cuando se le abona y cultiva adecuadamente; es insensible al fotoperíodo y se adapta a una escala muy amplia de condiciones de cultivo. Más aún, madura en 120 días en lugar de los 160 necesarios para muchas variedades no mejoradas. Debido a su maduración más temprana, pueden recogerse dos cosechas en algunas regiones.

Otras variedades más recientes, desarrolladas por IRRI y otros programas nacionales de investigación, incorporan nuevos caracteres favorables. Pronto se ha puesto de manifiesto en la historia del programa, que la resistencia a enfermedades es de importancia principal. Los mismos campos del instituto se vieron mermados por enfermedades de virus.

Algunas líneas recientes combinan la resistencia a varias enfermedades producidas por bacterias, virus y hongos y a los insectos, que perjudican a las plantas directamente y sirven como vectores de virosis. El descubrimiento del patrón parental resistente a estas plagas y enfermedades requiere ensayos de 10.000 o más variedades, seguidos de hibridación para incorporar genes resistentes en las variedades mejoradas. Se han establecido líneas tolerantes a la sequía y a las condiciones adversas del suelo. Los programas actuales crean las características del grano según las preferencias de los consumidores e incrementan el contenido proteínico del mismo. Finalmente, en pocas variedades, el período de cultivo se ha reducido a 100 días lo que en algunas regiones bien provistas de sistemas de riego representa triplicar la cosecha.

Cuando se estableció el programa mexicano de mejoramiento del trigo, se inició paralelamente un programa para incrementar la producción del maíz. El maíz se cultiva ampliamente por los agricultores de América del Sur, en Africa y en algunas zonas de Asia. Tradicionalmente las producciones habían sido bajas.

En los países desarrollados, y en particular en los Estados Unidos, los métodos de mejora vegetal comenzados en nuestro siglo tuvieron éxito por vez primera con el maíz. Constituyó una aportación interesante, por lo que hace referencia a la producción comercial de maíz híbrido, el método que se siguió en el primer tercio de nuestro siglo. Hacia 1950, los híbridos se habían adoptado en la llamada franja del maíz de los Estados Unidos por casi todos los agricultores. La producción llegó a multiplicarse por cinco, aproximadamente, en menos de veinte años.

A los agricultores de las naciones en vías de desarrollo no les pareció práctico el cultivo del maíz híbrido. Los híbridos cultivados eran de la generación F_1 y todas las plantas en una población dada eran genéticamente uniformes. Tal uniformidad incrementa la vulnerabilidad del cultivo a las enfermedades e insectos, factores que en los trópicos son particularmente graves. El maíz híbrido tiene otras desventajas: para obtener los hí-

INSTITUTO	AREAS DE INVESTIGACION	FUNDACION	UBICACION
INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (IRRI)	ARROZ	1960	FILIPINAS
INTERNATIONAL MAIZE AND WHEAT IMPROVEMENT CENTER (CIMMYT)	TRIGO, MAIZ, CEBADA, TRITICALE	1966	MEXICO
INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE (IITA)	MAIZ, ARROZ, ALUBIA DE ESPARRAGO, SOJA, ALUBIAS DE LIMA, CULTIVOS DE RAIZ Y TUBERCULO	1968	NIGERIA
INTERNATIONAL CENTER OF TROPICAL AGRICULTURE (CIAT)	GUISANTES DE CAMPO, MANDIOCA, ARROZ, MAIZ, FORRAJES Y PRODUCCION DE CARNE DE RES	1969	COLOMBIA
INTERNATIONAL POTATO CENTER (CIP)	PATATAS,	1972	PERU
INTERNATIONAL CROPS RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI-ARID TROPICS (ICRISAT)	SORGO, MIJO, GUISANTES, ARVEJAS, CHUFAS	1972	INDIA
INTERNATIONAL LABORATORY FOR RESEARCH ON ANIMAL DISEASES (ILRAD)	ENFERMEDADES GANADERAS	1973	KENYA
INTERNATIONAL LIVESTOCK CENTRE FOR AFRICA (ILCA)	GANADERIA AFRICANA	1974	ETIOPIA
INTERNATIONAL CENTRE FOR AGRICULTURAL RESEARCH IN DRY AREAS (ICARDA)	TRIGO, CEBADA, LENTEJAS, GUISANTES ANCHOS, SEMILLAS OLEAGINOSAS, ALGODON	EN PROYECTO	LIBANO

LA INVESTIGACION AGRICOLA en los países en vías de desarrollo está auspiciada por una red de institutos internacionales en cooperación con programas nacionales de investigación. Cada instituto trabaja en un cultivo (o ganado) particular, y algunos concentran su interés en regiones climáticas específicas. Todos los institutos de investigación emplean equipos interdisciplinarios en donde trabajan juntos fitopatólogos, entomólogos, economistas y otros peritos para mejorar la productividad de los campos. Desde 1971, los institutos han sido fundados en su mayoría por el Consultive Group on International Agricultural Research (CGIAR), comités especializados de la ONU, gobiernos y fundaciones privadas.

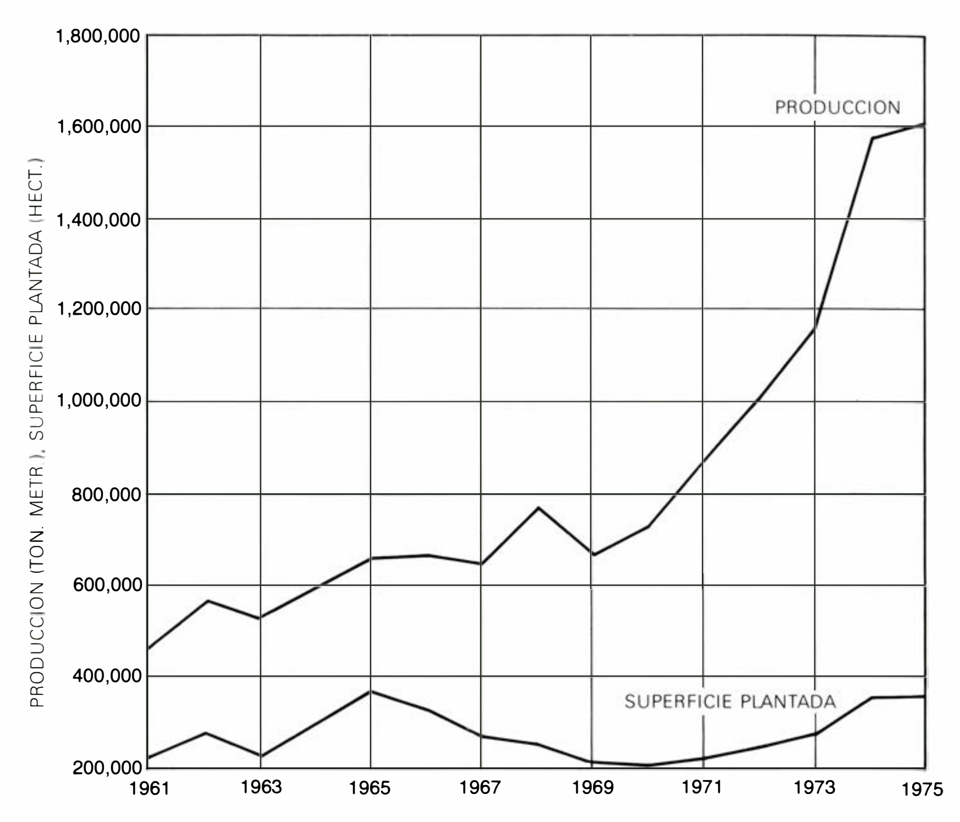
bridos de la F_1 se debe producir cada año semilla nueva mediante el hábil cruzamiento de líneas puras mantenidas cuidadosamente. Los países en vías de desarrollo carecen de facilidades para la producción de semillas o para distribuirlas, y los agricultores dedicados a un régimen de subsistencia frecuentemente no poseen los recursos económicos para adquirirlas. Desde tiempos neolíticos, la práctica usual ha sido reservar una porción de la cosecha para semillas de la próxima siembra.

Los métodos para la mejora del maíz difieren de los métodos del trigo o el arroz. El maíz tiene flores masculinas y femeninas separadas, en contraposición a las flores perfectas de la mayoría de los cereales. En condiciones naturales suele darse la polinización cruzada. Las líneas puras pronto se vuelven débiles y achaparradas. Las variedades híbridas cultivadas en Estados Unidos se obtuvieron concretamente para contrarrestar esta tendencia, pero el programa de desarrollo del maíz en México ha prestado poco interés a la creación de híbridos. En lugar de ello, se han desarrollado poblaciones vegetales que son verdaderas razas del país, formadas por la mayoría de los individuos mejorados. Las plantas de una población determinada son similares en apariencia y uniformes en determinadas propiedades (por ejemplo, duración del período de crecimiento) pero divergen en su constitución genética. Las plantas se cultivan y polinizan mediante métodos naturales a lo largo de varias generaciones, habiéndose escogido las semillas favorecidas que se han reservado de cada cosecha. De este modo se incrementa gradualmente la frecuencia de los genes deseados en la población aunque un gen dado no esté presente de igual modo en cada planta. La hibridación cruzada dirigida constituye, pues, un elemento básico en el programa de mejora; pero el objetivo es incorporar nuevos caracteres en la población heterogénea, no crear una variedad pura.

Igual que en las selecciones del trigo y del arroz, una primera meta en el programa de mejora del maíz fue la selección de plantas que pudieran cultivarse en plantaciones densas y, admitieran fertilizantes sin peligro de encamado. Esto se logró mediante un cambio literal del centro de gravedad de la planta: el cruzamiento de plantas tropicales altas con variedades enanas produjo una planta más baja y que sostiene a la mazorca en una caña más corta. Las poblaciones mejoradas también tienen hojas más cortas y erguidas. Los genes que confieren resistencia a las enfermedades e insectos han sido originados dentro de algunas de las mejores poblaciones. Como resultado de estos cambios se pudo incrementar la densidad del cultivo de 50.000 plantas por hectárea a más de 100.000.

Durante mucchos años, pareció que no podían originarse variedades del maíz de gran adaptabilidad. Por ello se desarrollaron poblaciones aisladas para distintas altitudes, latitudes y épocas anuales de crecimiento. Sin embargo, desde los inicios de nuestra década se han creado poblaciones con una gama de adaptación muy amplia. Se ha reducido por ejemplo, la sensibilidad al fotoperíodo, cruzando variedades seleccionadas de diferentes latitudes. En algunos casos, mediante la selección, también se ha conseguido un amplio espectro de resistencia a las enfermedades.

El progreso en el mejoramiento del maíz no ha sido tan rápido como el del trigo y el arroz, pero no por ello despreciable. En México se ha duplicado la productividad, y ha exportado tecnología a Africa y Asia.



LA PRODUCCION DE ARROZ en Colombia aumentó rápidamente tras la introducción de variedades enanas mejoradas, a finales de la década de los años sesenta. Estas variedades fueron desarrolladas conjuntamente por el International Center of Tropical Agriculture (CIAT), el programa de mejora de arroz del gobierno colombiano y la Colombian National Rice Grower's Federation. Las líneas enanas fueron plantadas por primera vez en 1968. En 1974 fueron cultivadas en casi todos los campos de Colombia, sembrados con arroz de riego. En 1975 la producción anual había aumentado en casi un millón de toneladas métricas, sobre la tasa que había antes de la mejora.

Los resultados de los programas resumidos anteriormente deben considerarse esperanzadores, aunque conviene no olvidar que conciernen sólo a tres cereales y que únicamente se han experimentado en áreas limitadas del mundo. El progreso continuado exige una investigación ininterrumpida, centrada en la eliminación de los factores limitantes de la productividad.

Ralph W. Cummings, de la Fundación Rockefeller, acaba de publicar un estudio del estado de la tecnología de los cultivos alimentarios en los países de renta baja. Compara el promedio anua! de ganancia en quince productos básicos durante los períodos del 1961 a 1965 y de 1971 a 1973. Sus descubrimientos dan un índice aproximado de la contribución de la investigación en la producción alimentaria a partir de la Segunda Guerra Mundial. Del estudio emergen dos conclusiones. Primera, la valoración de la situación en la investigación de los

principales cultivos indica que, en casi todos los casos, la investigación es "gravemente insuficiente" o "críticamente insuficiente". Sólo han recibido atención investigadora adecuada los arrozales sumergidos en agua y los trigales de primavera, de riego. Segunda, las ganancias anuales en la producción de siete plantas agrícolas (mandioca, patata blanca, soja, alubia de espárrago, guisante ancho, maíz y trigo) son más elevadas que el 2,5 por ciento, lo cual iguala o excede a la tasa de crecimiento de la población. Sin embargo, la mayoría de estas ganancias resultaron de una mayor extensión del área cultivada. Aunque se notaron excepciones en algunos países, en la mayoría el incremento de la producción podía atribuirse a cosechas más elevadas –y en consecuencia a la investigación agrícola– tan sólo para dos cereales: el arroz sumergido y el trigo de riego. Los otros cultivos del estudio –sorgo, arvejas, alubias secas, guisantes, chufas, boniatos y mijo– fallaron al querer equiparar su producción total y su productividad con el aumento de la población.

Las perpectivas para el mejoramiento inmediato de los programas de investigación de la agricultura nacional de los países en vías de desarrollo no son alentadores. Los salarios y los fondos de investigación son insuficientes y los pocos que son adecuados quedan absorbidos rápidamente por la agricultura. Muchos que se iniciaron en la investigación agrícola la abandonaron para obtener mejores salarios, en detrimento de la dirección y continuidad de los programas. Por desgracia, la necesidad de técnicos especialistas en la mejora agrícola en los países en vías de desarrollo coincide con un descenso real de la instrucción impartida a los mejoradores de plantas en los países desarrollados. En Estados Unidos, por ejemplo, hay pocos especialistas en hibridación subvencionados públicamente, en contraposición a los genetistas, y sólo en pocas instituciones se encuentran postgraduados competentes en la mejora vegetal aplicada. La investigación en este sector de la genética contribuirá algún día al desarrollo de variedades y a una mayor producción agrícola, pero mientras tanto el trabajo tradicional en el mejoramiento de plantas no debe deteriorarse.

Una nueva amenaza al bienestar de la investigación agrícola es la actitud de aquellos que, impresionados por los avances de la pasada década, han llegado a creer que hay un exceso de conocimientos útiles y que sólo queda por hacer la distribución de las nuevas variedades y de la nueva tecnología entre los agricultores. Algunos interesados en la asignación de recursos a países en vías de desarrollo han defendido la idea de un cambio en la ayuda financiera, orientada hacia la extensión de servicios más que a la investigación. Esta posición no es realista. Como hemos visto, la mayoría de los cultivos tropicales distan mucho de su producción potencial. Es más el éxito alcanzado en la producción, no debe frenar la investigación agrícola. Una variedad fijada existe en continua coevolución con los organismos que compiten con ella y la depredan; la resistencia no puede mantenerse indefinidamente. En la agricultura tropical las presiones de enfermedades, insectos y malas hierbas son intensas, y las nuevas variedades sólo permanecen útiles aproximadamente la mitad de tiempo que en la zona templada. Los mejoradores han de trabajar con mayor ahínco para mantenerlas.

A pesar de estos datos, los recientes logros en la investigación agrícola nos permiten ser optimistas. El factor más importante es, sin duda, la creación de una nueva red de institutos agrícolas internacionales que trabajen estrechamente con los programas de investigación nacional. El IRRI, fundado en 1960 e inicialmente subvencionado por la Fundación Ford y la Fundación Rockefeller, fue el primero de estos institutos. El segundo se creó en México en 1966, al consolidarse en el International Maize and Wheat Improvement Center, o CIMMYT (del nombre castellano Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo), los programas de mejora del trigo y el maíz iniciados en la década de los años 40. La CIMMYT también nació auspiciada por las Fundaciones Ford y Rockefeller, que asimismo ayudaron a establecer el International Institute of Tropical Agriculture (IITA), en Nigeria, y el International Center of Tropical Agriculture (CIAT), en Colombia. La ayuda financiera para estas sociedades fue asumida en el año 1971 por un consorcio de donantes organizados en el Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR). Patrocinadores de la CGIAR son el Banco Mundial, la Organización para Alimentación y Agricultura de las Naciones Unidas y el Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas; también

EL INCREMENTO DE PRODUCTIVIDAD es prácticamente el único responsable del incremento de producción de arroz en Colombia. Esto sugiere que tal mayor producción fue resultado de la adopción de variedades mejoradas, ya que únicamente se ve afectado el arroz de riego. Las variedades altas de arroz, que crecen sin riego, no fueron incluidas en los proyectos de mejoramiento.

son miembros algunas naciones y fundaciones filantrópicas privadas. El CGIAR ha fundado cuatro institutos más, incluyendo dos dedicados a la ganadería, y proyecta un instituto adicional de investigación de cultivos. En 1976, los ocho institutos existentes recibieron una subvención de 65 millones de dólares por parte de los gobiernos y organismos miembros del CGIAR.

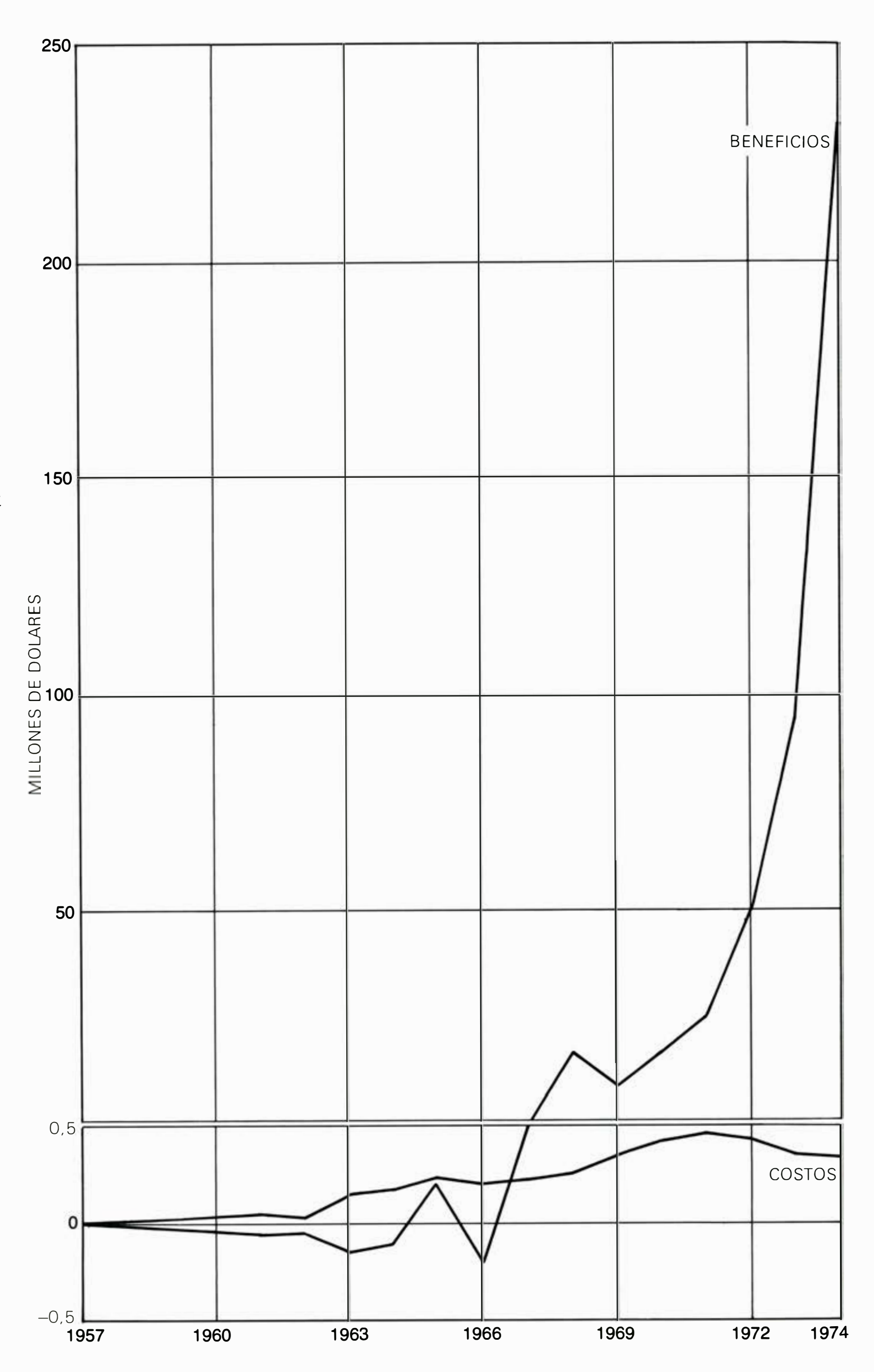
Los programas de investigación de los institutos internacionales están organizados según un modelo hoy día común. Equipos de investigadores profesionales jóvenes, que proceden de diferentes especialidades, se ponen a trabajar conjuntamente en un objetivo común. Las metas prefijadas son sencillas y prácticas: descubrir los factores que limitan mayormente la producción y modificarlos para que se incremente dicha producción.

Cada instituto tiene una esfera limitada de intereses, que puede ser una región, un cultivo determinado o un grupo de cultivos relacionados. La nueva tecnología se evalúa en explotaciones de múltiples países, asegurando su amplia aplicación y animando a participar a los organismos agrícolas nacionales. Finalmente, a través del trabajo habitual de los institutos y de los programas nacionales de investigación, los científicos han acumulado una gran pericia en los métodos y en los asuntos de la investigación vegetal práctica.

La propia idea de un equipo de investigación interdisciplinario y multinacional en agricultura constituye, en definitiva, la prueba más significativa de la contribución de los institutos. La necesidad de equipos de mejora vegetal se hace crítica en los trópicos húmedos, donde las limitaciones biológicas en la productividad agrícola son múltiples y graves. Los equipos internacionales no sólo han contribuido directamente a través de los institutos, sino que también han ayudado a revitalizar los programas de investigación nacional. Cientos de investigadores, trabajando en estaciones experimentales en sus propios países, tras una instrucción de seis meses a un año en algunos de los institutos, forman un cuerpo de trabajadores con una misma meta última y en torno a dicha unidad se van incrementando los programas de investigación nacional. Evalúan los descubrimientos de los institutos en relación con sus propios países, modificándolos según las necesidades y formando un nexo directo entre los institutos y los agricultores.

Los éxitos iniciales de los cultivos de la revolución verde fueron estimulantes ya que demostraron la enorme potencialidad de la agricultura tropical. Ha sido una demostración más del poder de la tecnología para transformar la tierra y la gente que la habita; tal ha ocurrido con el arroz de riego en Latinoamérica.

Las variedades de arroz desarrolladas por el IRRI han sido adoptadas ampliamente en Asia, pero requieren adaptaciones posteriores antes de que puedan



LOS COSTOS Y LOS BENEFICIOS del programa de mejora de arroz en Colombia justifican claramente el gasto necesario para la investigación agrícola. Los costos de la investigación supusieron pequeños déficit hasta 1967, pero el valor de las cosechas adicionales recolectadas ha servido para pagar por completo el programa, unos cinco años después de que se introdujeran las variedades mejoradas. En 1974, la producción anual adicional se valoró en 230 millones de dólares, frente a un gasto de investigación de 340.000 dólares. La mayoría de los beneficios del programa pasó a los consumidores en forma de precios más bajos del arroz. La gráfica se basa en un estudio del programa realizado por Grant M. Scobie y Rafael Posada, pertenecientes al CIAT.

plantarse en otras partes del mundo. En 1967, en un esfuerzo por extender la nueva metodología a Latinoamérica, un mejorador del arroz del IRRI fue trasladado al CIAT en Colombia. Al mismo tiempo, algunos investigadores colombianos llegaron al IRRI, en Filipinas, y a otros lugares para su preparación académico-práctica en distintos aspectos de la producción. CIAT y el gobierno colombiano, en colaboración con la Colombian National Rice Grower's Federation (Federación Nacional de Arroceros), establecieron un amplio programa de mejora regional. Se establecieron contactos con programas de investigación nacional y de otros países de Latinoamérica; se instruyó a más de 90 peritos extranjeros en las peculiaridades de Colombia, que volvieron a sus países de origen para evaluar los más recientes materiales y prácticas de cultivo bajo las condiciones predominantes.

La colaboración entre un instituto internacional, un programa de investigación nacional y una organización representante de los bloques de productores, permitió el desarrollo de proyectos tecnológicos que se probaron directamente en las explotaciones. Algunas variedades enanas nuevas fueron producidas por el programa de Colombia, y otras se obtuvieron en otros países a partir del material distribuido por el proyecto colombiano.

El programa tuvo éxito no sólo por el desarrollo de nuevos arroces con un potencial elevado de rendimiento, sino también por la introducción de variedades nuevas en el sistema agrícola nacional y consiguiéndose realmente tal rendimiento potencial. En Colombia, las primeras plantaciones de arroz mejorado se realizaron en 1968. En 1974 más del 99 por ciento del área de tierra cultivada con arroz de riego se plantó con una de las líneas enanas mejoradas.

El impacto de la nueva tecnología puede medirse fácilmente. La producción ha aumentado de menos de 3 toneladas métricas por hectárea a 5,4 toneladas métricas; es decir, cada hectárea plantada con las nuevas variedades produce 2,5 toneladas métricas más de grano. La producción se incrementó de 680.000 toneladas métricas en 1967, año anterior al inicio del programa, a 1.632.000 toneladas métricas en 1975. Casi todo el aumento se debió a la mejora de la producción. El valor de las cosechas adicionales a lo largo de 1974 fue aproximadamente de 450 millones de dólares. Las variedades derivadas del proyecto colombiano también tuvieron éxito en México, Ecuador, Perú, Venezuela y América Central. En toda esa zona se incrementó la cosecha de cereales en 1974 en 1,5 millones de toneladas.

Para muchos cultivos no cereales, la mejora es más un tema de potencial que de realización. Sirva de ejemplo la mandioca, un cultivo de raíz, conocido en Estados Unidos principalmente en la forma granulada llamada tapioca, y que se consume como producto dietético en muchos países tropicales. El cultivo de la mandioca se fue perdiendo hasta que la CIAT, en Colombia, y la IITA, en Nigeria, acometieron recientemente su mejora. Tiene potencial para vastas producciones, por encima de 50 toneladas por hectárea, y se cultiva bien incluso en suelos relativamente pobres. Sin embargo, la producción real de sus cosechas no alcanzan hoy las 10 toneladas por hectárea.

La tecnología necesaria para la mejora de la mandioca se está consiguiendo muy rápidamente. Los equipos de mejora de los institutos internacionales, en colaboración con los programas nacionales, están desarrollando variedades altamente productivas, así como las prácticas de cultivo que deben acompañarlas. Se han obtenido producciones de 30 a 40 toneladas por hectárea en explotaciones en una amplia gama de zonas geográficas. Es obvio que, cuando los experimentos de las explotaciones produzcan de 2 a 3 veces el promedio nacional, se logrará un potencial para el cultivo rápido en la producción regional. El siguiente paso será una técnica para reducir las pérdidas de almacenamiento de las raíces frescas cosechadas. Cuando esto sea factible, se acrecentará su producción.

La reciente transformación de cultivos de arroz de riego en Colombia es un argumento de peso a favor de la investigación agrícola. Ello significa que la mejor inversión que puede hacer la comunidad internacional, en países en vías de desarrollo, es una investigación agrícola dirigida a incrementar la producción de todas sus cosechas. Desde 1967, el gasto anual de la CIAT, en la investigación del arroz y actividades relacionadas, el gobierno colombiano y la Federación Nacional de Arroceros no excede del millón de dólares. Sólo en Colombia y, durante el año 1974, la producción adicional resultante de la introducción de nueva tecnología se evaluó en 230 millones de dólares, que representa una espléndida ganancia en cualquier tipo de inversión.

así ven INVESTIGACION Y CIENCIA

«Hace cierto tiempo, pensando en la necesidad de publicar una buena revista de divulgación científica en España, consulté con mi amigo y colega, el bioquímico Alberto Sols, acerca del mejor enfoque a tomar en tal proyecto. Alberto me contestó que lo más práctico sería traducir al español la mejor revista que existe en este campo, es decir, SCIENTIFIC AMERICAN. Afortunadamente, gracias a la Editorial Labor, esto ya es una realidad. Y también un gran acierto, porque la supervivencia del hombre en la tierra en los próximos siglos dependerá en gran parte de que éste reciba una buena formación científica y humanística.»



JUAN ORO

Profesor de la Universidad de Houston, director científico del Proyecto Vikingo de la NASA.



«Soy lector, desde hace muchos años, de SCIENTIFIC AMERICAN, que es modelo en el difícil arte de la divulgación científica de altura. Por ello, considero que INVESTIGACION Y CIENCIA contribuirá a crear el clima social que necesita el desarrollo de la investigación entre nosotros, dando a conocer además la gran tarea ya realizada por los científicos españoles e hispanoamericanos.»

EDUARDO PRIMO YUFERA

Presidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

«Me complace enormemente la noticia de la publicación de INVESTIGACION Y CIENCIA, edición en español de SCIENTIFIC AMERICAN, la revista de mayor prestigio en el mundo de la ciencia, sin otro norte que el avance de ésta y su incidencia en la vida del hombre. Qué duda cabe que ha de ser un vigoroso instrumento de progreso para los países de habla española.»



JOSEP TRUETA

Profesor Emérito de Cirugía de la Universidad de Oxford.



«Pienso que acaso la más radical de las deficiencias históricas del alma española sea la escasez de su formación científica, la carencia o la debilidad de los hábitos mentales en cuya virtud es posible hacer ciencia propia y estimar adecuadamente la que los demás han hecho. Mídase, pues, según esto, la importancia que atribuyo a la publicación de la revista INVESTIGACION Y CIENCIA. En ella veo un eficaz recurso para acercarnos al siglo XXI a la altura que éste va exigir a todos los hombres.»



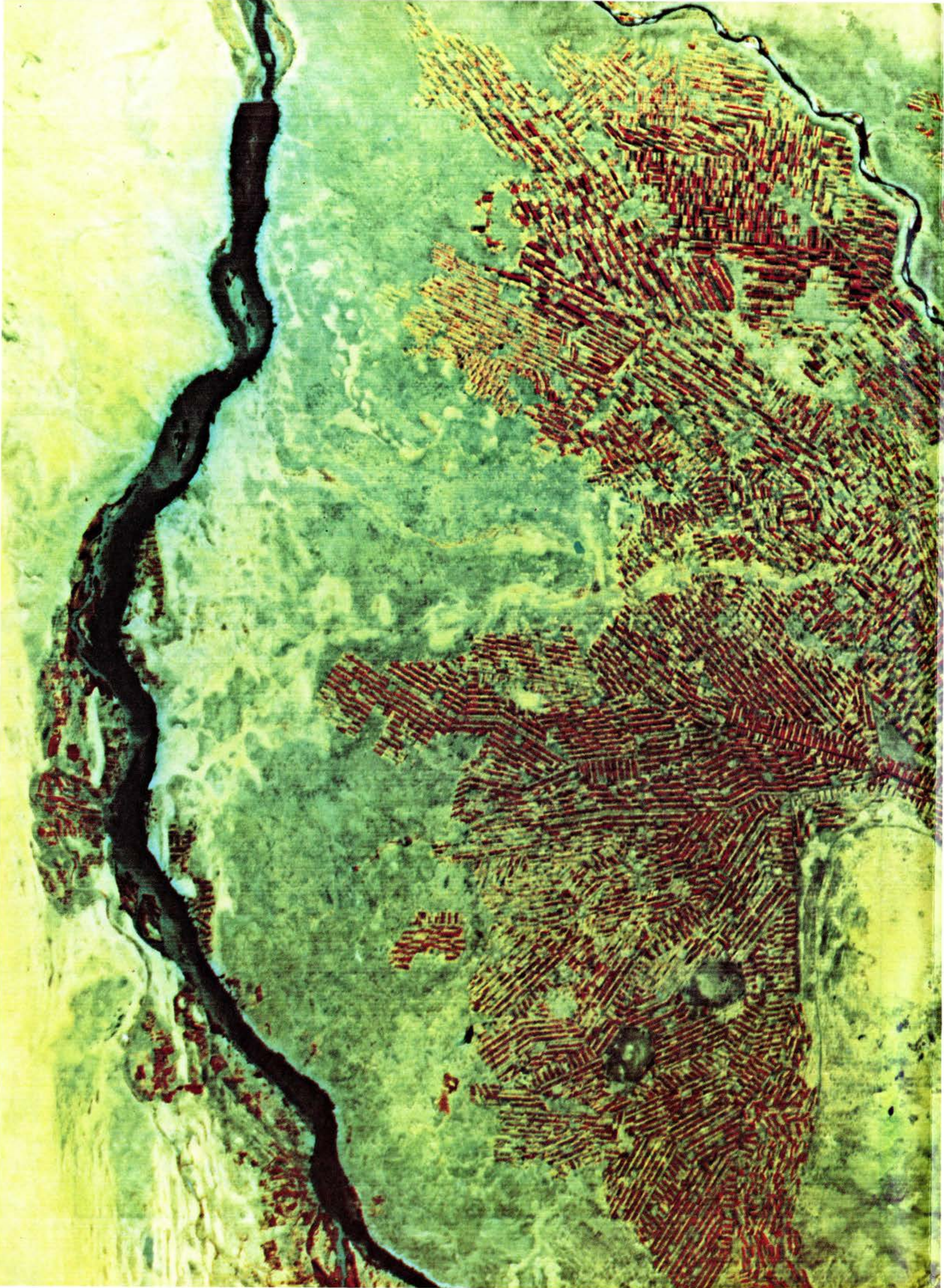
PEDRO LAIN ENTRALGO

Catedrático de la Universidad de Madrid. Director del Instituto Arnau de Vilanova del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

«Tengo muchas razones para creer que la edición en español de SCIENTIFIC AMERICAN va a representar un acontecimiento de real importancia en la vida intelectual española. Entre otras, el uso continuo que de SCIENTIFIC AMERICAN hacemos la mayoría de los que, sabiendo inglés, trabajamos en el campo de las ciencias humanas. La calidad y claridad de los trabajos, así como su amplia y actual temática, hacen de esa publicación una herramienta de trabajo en verdad indispensable, que ahora estará al alcance de todo el mundo.»

JOSE LUIS PINILLOS

Catedrático de Psicología de la Universidad Complutense, Madrid.



La evolución de la agricultura en los países en vías de desarrollo

Los países pobres pueden alimentarse por sí mismos si modernizan sus agriculturas y reestructuran sus economías rurales. Para esto se precisan aportaciones de tecnología y capital de las naciones ricas

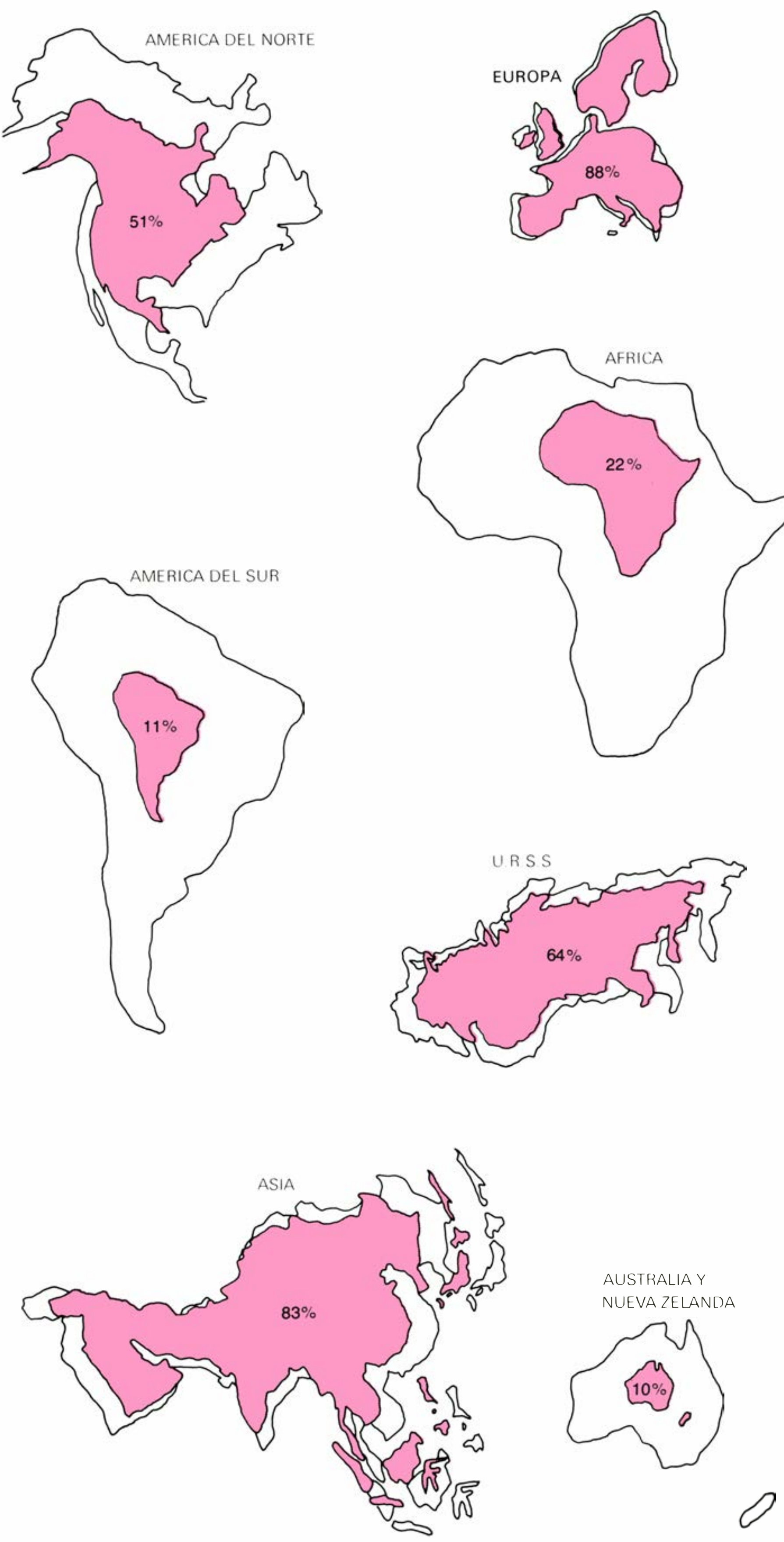
W. David Hopper

Para que la población de los países pobres pueda alimentarse, su alimento habrá de provenir del suelo, los recursos y las economías agrícolas con que cuentan. El superávit de producción de algunos países exportadores puede servir a veces para amortiguar la repercusión del mal tiempo u otras calamidades, naturales u ocasionadas por el hombre, pero nadie debería hacerse ilusiones acerca de que la seguridad alimentaria del mundo pueda lograrse mediante cosechas abundantes procedentes de los campos de EE.UU. y Canadá, Argentina y Australia. Entre las naciones en desarrollo son poquísimas las que dan pruebas de haber entendido que la independencia alimentaria es un asunto interno, y que si se le da prioridad al desarrollo agrícola, éste puede sentar los cimientos para modernizar toda una economía. Tampoco las ricas naciones industriales han reconocido plenamente que dicho desarrollo, del que dependen tanto el futuro abastecimiento alimentario del mundo como el alivio de la tensión entre ricos y pobres, exige una caudalosa transferencia de capital y tecnología desde los países ricos hacia los pobres.

Desde luego, se han sugerido alternativas. Una, conocida eufemísticamente como la analogía del bote salvavidas, sostiene que la tierra puede mantener sólo un número limitado de personas y que aquellos que estamos seguros a bordo no podemos poner en peligro nuestra capacidad de supervivencia extendiendo una mano caritativa a los miles de millones de prójimos que harían naufragar la embarcación. Una versión modificada de esta ética es la denominada de selección ("triage"), conforme a la práctica de primeros auxilios en el campo de batalla, consistente en dividir a los heridos en tres categorías: los que probablemente sobrevivirán sin atención inmediata, los que probablemente morirán de todos modos, y los que pueden salvarse si reciben atención inmediata. Según esta norma, algunos países recibirían ayuda, pero los bangladeshianos del mundo quedarían abandonados a su suerte. Estos dos enfoques me parecen casi tan poco prácticos (no es tan fácil dar cuenta de los países moribundos como de las personas que se ahogan o de los heridos en su camilla) como indecentes.

Una tercera sugerencia, infinitamente más humana, se basa en el hecho de que las poblaciones ricas consumen unas cinco veces más cereales que las pobres, porque elaboran la mayor parte en forma de carne mediante un proceso de conversión poco eficiente. El argumento continúa afirmando que si los norteamericanos redujesen sus hinchadas dietas en alrededor de un tercio, dejarían disponibles 78 millones de toneladas métricas de cereales para quienes lo necesitan. El problema de este enfoque reside en que el dividendo de 78 millones de toneladas disminuiría conforme fuese aumentando la población estadounidense y pronto quedaría a la zaga de las poblaciones crecientes y los crecientes niveles de consumo de alimento de los países en vías de desarrollo; esta forma de economía distributiva a la larga no puede sino distribuir pobreza. Además, el solo hecho de ahorrar alimento no le da a nadie el dinero para adquirirlo. Finalmente, los

EL INMENSO POTENCIAL de los países en vías de desarrollo de las regiones tropicales y subtropicales del mundo para producir sus propios alimentos queda sugerido por la imagen compuesta tomada por el satélite LANDSAT, que se muestra en la página opuesta, en que figura parte del complejo de regadío de Gezira, Sudán, de 810.000 hectáreas. (La superficie abarcada por esta vista es aproximadamente un 50 por ciento mayor que la de otras escenas del LANDSAT, a toda página, que se muestran en el presente número.) El desarrollo inicial de las obras de riego, situadas en la fértil llanura de suelo arcilloso comprendida entre el Nilo Blanco y el Nilo Azul, inmediatamente al sur de Jartum, fueron iniciadas en la década de 1920 por el grupo Sudan Plantation Syndicate, administrado por ingleses y dedicado principalmente al cultivo del algodón. Desde que las obras fueron nacionalizadas hace más de 25 años, se ha puesto un mayor énfasis en la agricultura intensiva y en el cultivo de plantas alimenticias. En la década comprendida entre 1960 y 1970 la proporción de tierra cosechada anualmente aumentó del 47 al 62 por ciento; casi la mitad del incremento correspondió a la introducción del trigo. En esta imagen de colores falseados del LANDSAT 2, tomada el 7 de diciembre de 1975, las fajas de tierra cultivada se ven rojas y las no cultivadas de color verde. Más hacia el sur de Sudán, los grandes pantanos formados por el Nilo Blanco constituyen lo que es, en potencia, una de las regiones agrícolas más ricas del mundo, con el suelo, insolación y recursos de agua suficientes para producir inmensas cantidades de alimentos.



EXTENDER LA AGRICULTURA a las tierras laborables pero aún no cultivadas sería una de las maneras de aumentar la producción mundial de alimentos. Las figuras muestran las principales extensiones continentales del mundo, dimensionadas en proporción a la superficie de sus tierras potencialmente laborables. El mapa en silueta *(color)*, incluido dentro de cada contorno, muestra qué proporción de esa tierra potencialmente laborable se estaba cultivando a mediados de la década de 1960. Los números dan la superficie cultivada como porcentaje de la superficie laborable.

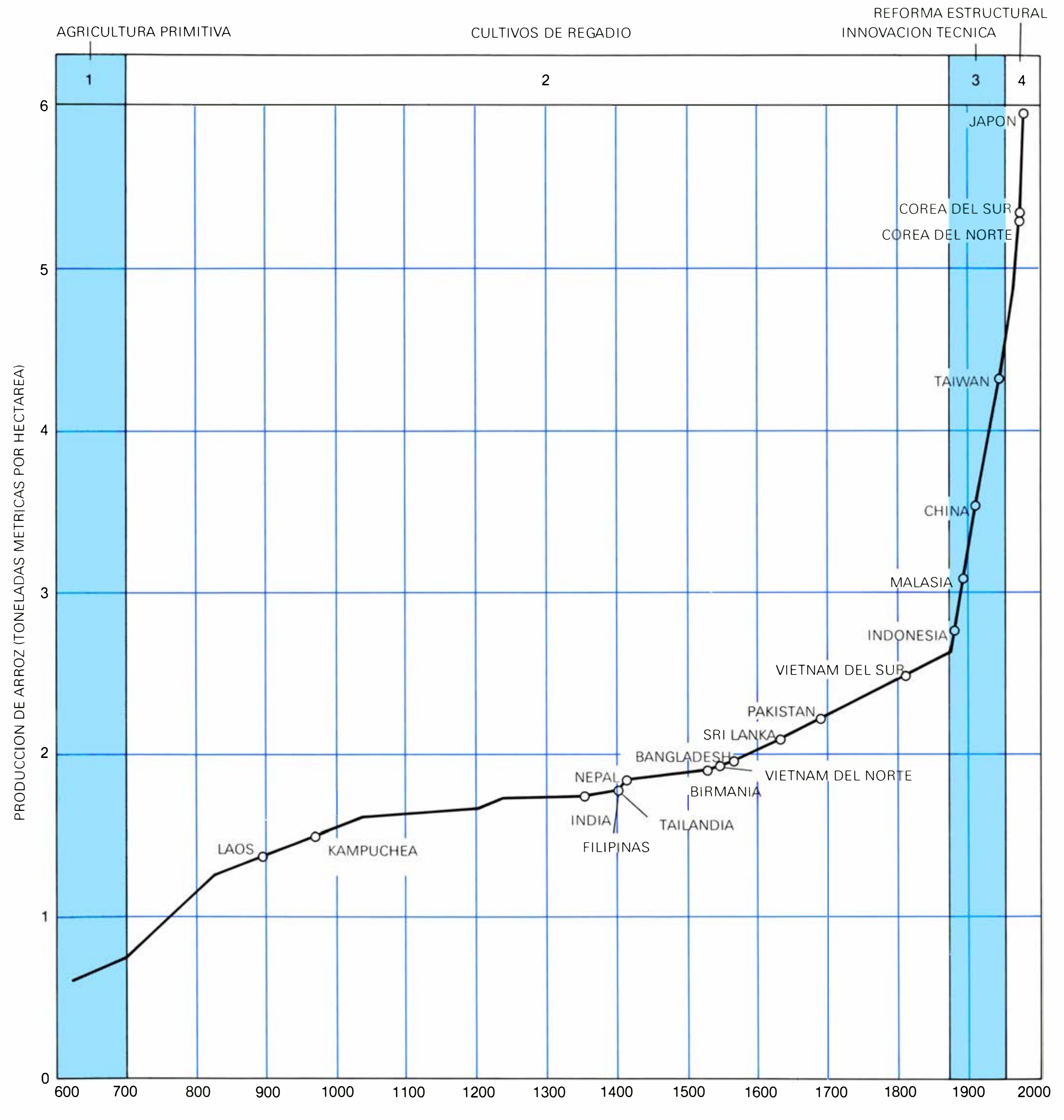
obstáculos internos, políticos y económicos, para disminuir la producción de carne en Norteamérica hacen que dicho programa sea no sólo ineficaz sino también improbable. Falta hace el que haya justicia distributiva en el mundo, pero debería adoptar la forma de ayuda económica, convenios sobre precios de productos de primera necesidad y reformas comerciales que dieran una mejor posibilidad de desarrollarse a las naciones pobres.

Tal como dije al comenzar, ese desarrollo debería ser en primer lugar agrícola, cosa difícil de hacer entender a los gobiernos de la mayoría de los países en vías de desarrollo. Estos tienden a preferir atributos de modernidad tales como aerolíneas nacionales y fábricas humeantes antes que simples caminos de las granjas al mercado, sacos de semilla de trigo de alto rendimiento, cooperativas de crédito rural y otras palancas de la transformación agrícola. Y, sin embargo, la mayoría de los países en vías de desarrollo están mejor dotados para el progreso agrícola que para cualquier otro tipo de avance económico. El mundo en desarrollo se extiende principalmente sobre y entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio. Es una faja de temperaturas cálidas, de lluvias generalmente abundantes (si bien a menudo estacionales) y de insolación abundante y continua durante el año, insolación que puede convertirse en energía química almacenada en los tejidos vegetales y animales.

Los recursos tropicales y subtropicales de los países en desarrollo se explotan ahora principalmente mediante técnicas de cultivo que han permanecido casi invariables durante siglos. Los rendimientos por hectárea y por trabajador agrícola son muy bajos (lo que explica en gran medida no sólo la escasez mundial de alimento sino también la pobreza de la mayoría de los agricultores del mundo). Pero hoy en día resulta evidente que allí donde se han introducido variedades de plantas y técnicas agrícolas modernas, los agricultores logran extraer de sus tierras rendimientos de monocultivo de dos a tres veces mayores que su rédito tradicional. La plantación de dos o tres cultivos en un mismo trozo de tierra –algo que es característico de los trópicos y subtrópicos– da rendimientos de cuatro a ocho veces mayores que los tradicionales. Los especialistas en desarrollo agrícola estiman ahora que pueden proyectarse nuevos sistemas de cultivo ideados específicamente para diversas

condiciones tropicales y subtropicales, los cuales ofrecen inmensas promesas de producción muy aumentada, de mejor utilización del trabajo agrícola a lo largo del año y grandes oportunidades para mejorar el bienestar nutricional y económico del pequeño agricultor. Tal es el primer paso que tienen que dar los países en desarrollo hacia una nueva agricultura y una situación económica saneada.

La significación de la "revolución verde" no estriba tanto en su influencia cuantitativa sobre la producción de alimentos como en su demostración de lo que implica la modernización de las agriculturas tradicionales. La adopción generalizada y rápida de variedades de trigo y arroz de elevado rendimiento ha constituido una prueba de que los campesinos no son ni lentos ni tozudamente opuestos al cambio. La adopción agresiva de nuevas técnicas agrícolas está ampliamente documentada en lo referente a cultivos convertibles en metálico, pero persistía el mito de que a causa de que la mayoría de los alimentos cultivados en los países en vías de desarrollo está destinada al consumo del propio campesino, las tecnologías tradicionales de producción cambiarían lentamente.



LA INTENSIFICACION DE LA AGRICULTURA en tierras actualmente cultivadas es la otra manera de producir más alimentos. Esto significa que progrese más la agricultura de las regiones en vías de desarrollo, recapitulando de hecho la progresión histórica ejemplificada aquí por el caso de Japón. Kunio Takase, del Banco Asiático de Desarrollo, descubrió que los rendimientos arroceros de Japón aumentaron *(curva en negro)* según la agricultura fue pasando del tradicionalismo al regadío, a la agricultura científica y a la transformación estructural. Los rendimientos en muchos países asiáticos, que apenas cultivan el 50 por ciento de las tierras arroceras, los sitúa en la segunda etapa.

No es esto lo que ha sucedido. A los cuatro años de haberse distribuido ampliamente y por primera vez en Asia meridional, la semilla de las nuevas variedades de trigo de gran rendimiento ocupaba prácticamente todas las tierras adecuadas para su cultivo. Como reacción a diferencias de rendimiento del 200 al 300 por ciento respecto de las variedades tradicionales de plantas, y con el importante incentivo de precios del grano que hacían sumamente provechoso el cultivo de alto rendimiento, el campesino asiático demostró ser tan innovador como cualquier otro del mundo; el estereotipo del agricultor tradicional, lento en cambiar y tozudamente reacio al progreso, murió de muerte muy merecida.

La experiencia con el trigo y el arroz de elevado rendimiento tuvo importancia también desde otros puntos de vista. Constituyó la primera ocasión en que gran número de agricultores pudieron hacer rápidamente innovaciones significativas en sus métodos de producción de alimentos. Fue la primera vez en que muchos países en vías de desarrollo lograron rendimientos sustancialmente mayores de cultivos alimentarios, usando las mismas tierras anteriormente cultivadas, gracias al uso de tecnologías no tradicionales derivadas de la investigación científica. Hasta entonces, los incrementos en la producción de alimentos habían provenido ya de extender el cultivo a tierras incultas o de mejorarlas mediante el regadío. Y, finalmente, proporcionó la primera prueba clara de que, si las nuevas tecnologías agrícolas aumentan grandemente el rendimiento, si el mayor rendimiento puede devengar una utilidad que exceda del mayor coste de los nuevos métodos y si los agricultores tienen acceso a los factores de producción (tales como semillas, fertilizantes e insecticidas) y a los recursos de capital (tales como instalaciones de regadío y maquinaria agrícola) que necesitan para usar eficazmente dichos métodos, la consecuencia será una decidida actitud innovadora.

Las investigaciones ulteriores han puesto de manifiesto que los requisitos cruciales son el acceso a los factores de producción y la expectativa de utilidades económicas como consecuencia de la innovación. Las variedades de elevado rendimiento se diferenciaban de los tipos genéticos tradicionales en su reacción a los nutrientes vegetales, y en especial al nitrógeno, que suele ser el principal factor limitante en los cálidos suelos tropicales (véase, en este mismo número, *Cómo aumentar la producción agrícola*, por Peter R. Jennings). El acceso de los agricultores a los abastecimientos de fertilizantes fue, por consiguiente, un factor crítico para promover la innovación. También era indispensable una gran cantidad de agua para regadío. Los cultivos de gran rendimiento sólo utilizan al máximo la energía solar cuando su foliación es densa. Una población vegetal densa absorbe mucha más agua (para fotosíntesis, respiración y transpiración) que la delgada capa que forman los cultivos de la agricultura tradicional y escasa en nutrientes. Los agricultores que pudieron beneficiarse de la adopción de las tecnologías de la revolución verde fueron aquellos que tuvieron fácil acceso a los almacenes de fertilizantes y cuyos campos disponían de agua abundante gracias a los sistemas de regadío o por estar situados en zonas de pluviosidad garantizada .

En el aspecto económico, las técnicas modernas de producción de alimentos exigen insumos comprados, algo que no era usual en la agricultura tradicional. Aunque la mayoría de los agricultores tradicionales ha tenido algún contacto con una economía monetaria, para muchos de ellos los riesgos de la agricultura, y en especial la vulnerabilidad de la familia campesina al endeudamiento en metálico proveniente de una mala cosecha, constituye un freno para el comportamiento innovador. Esto es especialmente válido respecto de agricultores minifundistas y con poca riqueza acumulada. Si no se les ayuda, son los últimos en cambiar sus prácticas; esperan a que los vecinos más acaudalados hayan experimentado con los nuevos métodos y, en muchos casos, evitan el riesgo no adoptando para nada los nuevos sistemas. Para ellos, e incluso para muchos de sus vecinos más ricos, la adopción de nuevas tecnologías agrícolas depende no sólo de su efecto sobre la producción, del posible provecho y del acceso a unos abastecimientos, sino también de la disponibilidad de créditos, de los seguros contra riesgos y del asesoramiento técnico y práctico, que disminuye la probabilidad de que inadvertidamente se descuide algún componente importante de lo que a menudo constituye un conjunto complejo de prácticas agrícolas interconectadas. La necesidad de insumos en metálico para la agricultura alimentaria implica también la necesidad de tener acceso a los mercados de productos, puesto que debe haber alguna manera de obtener dinero de la venta del superávit de las cosechas a fin de pagar los factores de producción. Y los mercados florecientes dependen de las redes de transporte, de las instalaciones de almacenamiento y de elaboración, de sistemas de difusión de informaciones mercadológicas, de la disponibilidad de crédito para los comerciantes, etc.

Estos son algunos de los elementos de la infraestructura requeridos por una agricultura orientada hacia el mercado; otros son las redes de servicios de investigación tecnológica, instituciones económicas para apoyar el crédito al agricultor y para facilitar el comercio, servicios de asesoramiento técnico para los agricultores y la base industrial necesaria para producir los insumos agrícolas. En los países en desarrollo dichas instituciones e instalaciones o son débiles o no existen, motivo por el cual la vía hacia la seguridad alimentaria mundial es también la vía hacia el desarrollo económico de tales países.

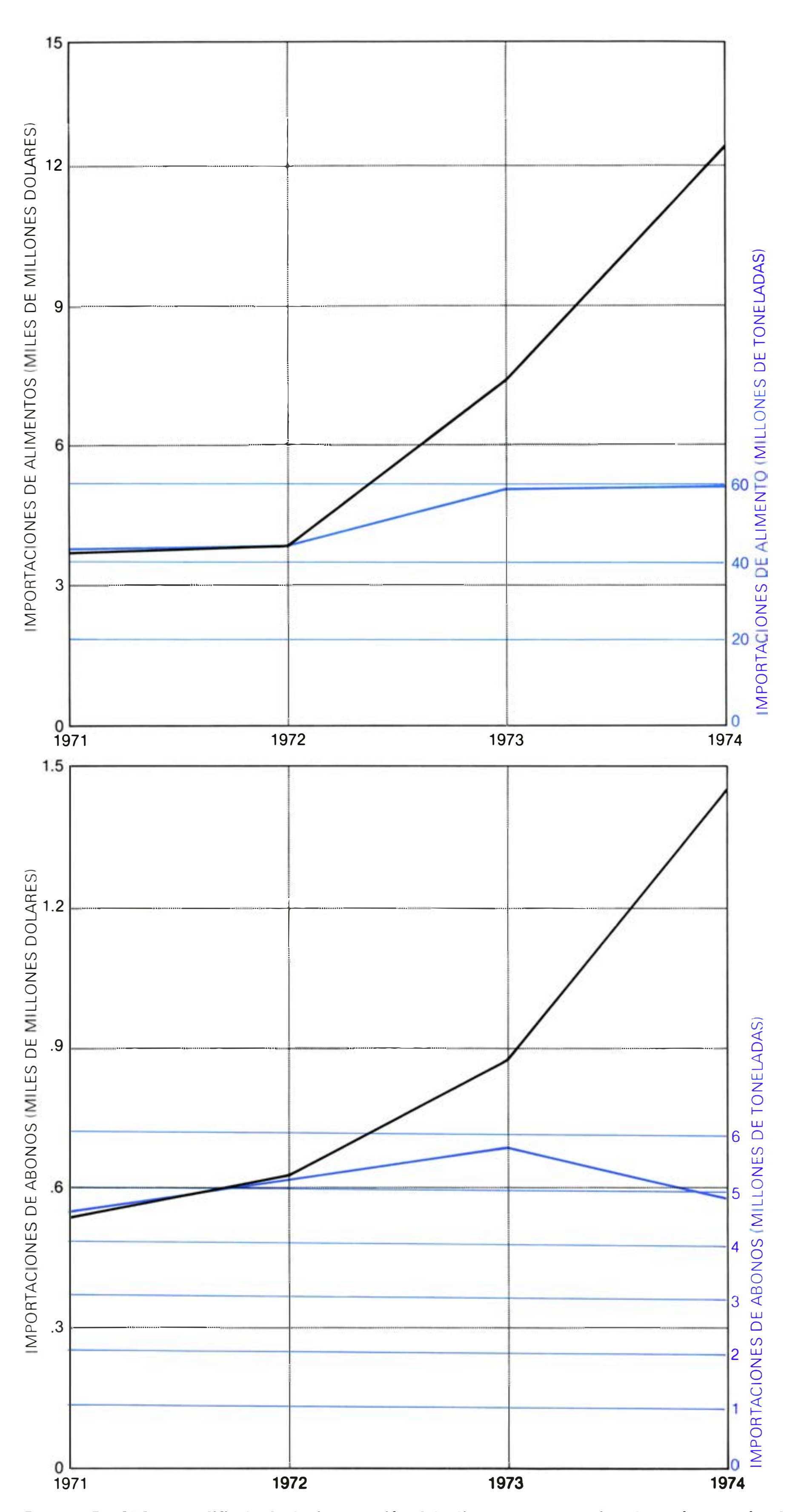
Las nuevas variedades enanas de trigo y arroz, junto con los fertilizantes y el agua garantizada, hicieron que la India produjera más del doble de trigo entre 1968 y 1972, dieron a Pakistán un superávit exportable de arroz y pusieron a Filipinas en condiciones de ser casi autosuficiente en alimentos. La oportunidad que esas variedades dieron a los agricultores para obtener beneficios tuvo como consecuencia una dinámica de desarrollo nunca vista en las regiones que resultaban apropiadas para su cultivo. Los agricultores realizaron inversiones privadas en regadíos, en el mejoramiento de tierras, en equipos modernos de labranza y mejores instalaciones de almacenamiento y todo ello constituyó uno de los principales resultados de la transición de una base tradicional a una base científica en la producción de alimentos.

La experiencia de la revolución verde tiene dos consecuencias generales. La primera es la importancia de la repercusión que las modernas tecnologías agrícolas tienen sobre las tierras ya cultivadas, siempre que tales técnicas sean económicamente provechosas para el cultivador que las aplique y vengan apoyadas por una infraestructura de servicios adecuados, externos a las explotaciones mismas. La segunda es que no hay gran interacción entre las instituciones sociales y culturales de una sociedad (tales como las pautas de tenencia de tierras) y los cambios tecnológico y económico. Durante largo tiempo se ha sostenido que la reforma de la tenencia de tierras

es una condición previa e indispensable para originar, por ejemplo, el crecimiento de la producción agrícola. Es indiscutible que los grandes latifundistas pueden mantener tierras y cultivar, y que a menudo lo hacen, o bien que dejan de maximizar su productividad agrícola. En tales casos, la redistribución de tierras o alguna forma de incentivo o de castigo económico son medios apropiados para hacer productiva dicha tierra. Pero, en las regiones en que los cultivos o los pastos se explotan hasta el límite de las tecnologías tradicionales, las fincas pueden beneficiarse de los métodos modernos, ya sean grandes o pequeñas. Y hay pruebas de que, si se les ayuda adecuadamente con servicios no agrícolas, todos aquellos que trabajan la tierra aumentarán su rendimiento, sea cual fuere su posición en el escalafón de la tenencia de tierras. A juzgar por los resultados de la difusión de las variedades enanas de gramíneas, es cierto que los pequeños agricultores, al tener menos recursos, son más lentos en adoptar los nuevos métodos. Pero una vez que las nuevas prácticas han demostrado ser provechosas, y suponiendo que la disponibilidad de crédito no constituya una barrera, los pequeños agricultores pueden hacerse y se hacen tan innovadores como los terratenientes. No se niega con esto que la reforma institucional rural sea una necesidad primaria en muchos países en vías de desarrollo, quizá en la mayoría de ellos. No obstante, su justificación primordial radica en la necesidad de una mayor justicia social, económica y política; desde el punto de vista del aumento del producto agrícola, su importancia es sólo marginal.

En un estudio reciente, el International Food Policy Research Institute calculaba que para evitar una posición deficitaria hacia 1985, los países en desarrollo debían incrementar su producción de granos cereales a razón de aproximadamente un 4,25 por ciento anual desde 1976 en adelante. Eso equivale a dos y media veces la tasa de 1,69 por ciento que lograron entre 1967 y 1974 y más de una vez y media la tasa de 2,5 por ciento, que fue el promedio de los últimos 15 años. Básicamente, hay dos maneras de alcanzar ese nivel de crecimiento de la producción: llevando la agricultura a tierras que ahora no se cultivan e intensificando la producción en tierras ya cultivadas.

En los trópicos hay grandes zonas no dedicadas ni a agricultura ni a ganadería, que constituyen una enorme reserva



LA INFLACION ha dificultado la importación del alimento que necesitan los países en vías de desarrollo o la de los insumos necesarios para producirlo. Los gráficos muestran el monto de dinero *(curvas en negro)* **gastado en los cuatro años señalados por los países en vías de desarrollo para importar alimentos** *(gráfico superior)* **y fertilizantes** *(gráfico inferior)*, **conjuntamente con las cantidades de alimentos o fertilizantes que compraron con dicho dinero** *(curva coloreada)*. **El gráfico superior incluye a China y a los países exportadores de petróleo y en vías de desarrollo, excluidos del inferior. Datos de Overseas Development Council a partir de informes de la FAO.**

de la producción futura (véase, en este mismo número, el artículo *Recursos disponibles para la agricultura* de Roger Revelle, pág. *122*). La mitad sur del Sudán es en potencia una de las regiones agrícolas más ricas del mundo, ya que está provista de los recursos de tierra, luz solar y agua necesarios para producir enormes cantidades de alimentos, quizá tanto como lo que ahora produce todo el mundo. Hoy en día, el agua resulta inútil: las cabeceras del Nilo Blanco, bloqueadas en su curso norte por elevadas mesetas, se derraman sobre la tierra para formar grandes pantanos. Para hacer realidad la promesa del Sudán meridional habrían de drenarse dichos pantanos, instalar una infraestructura rural y transformar de algún modo a los ganaderos nómadas de la región en agricultores sedentarios. El capital necesario para tal empresa sería casi tan grande como la promesa, y el tiempo necesario abarcaría generaciones. No obstante, las posibilidades son reales y están sin explotar. No puede descuidarse semejante reserva por mucho tiempo cuando las escaseces mundiales de alimento son una constante habitual.

Los extensos llanos de América Latina –las llanuras de pastizales al norte y al sur de la cuenca del Amazonas– son extensiones inexplotadas que, con una inversión suficiente en infraestructura rural, podrían hacerse altamente productivas para la ganadería. Otras zonas que cuentan con un inmenso potencial para aumentar los abastecimientos de alimento humano son las sabanas de Africa, las decenas de millones de hectáreas de tierra semihúmeda situadas al sur del Sahara, actualmente inhabitables a causa de la oncocerciasis, la ceguera fluvial, así como grandes regiones de selva tropical e incluso algunas de las regiones desérticas de la Península Arábiga, del norte de Africa y de Asia occidental.

Antes de que puedan explotarse estas reservas de la producción futura de alimentos, habrán de emprenderse investigaciones sobre las tecnologías agrícolas y de desarrollo adecuadas para sus respectivas ecologías y habrán de movilizarse la voluntad y la acción políticas de las naciones y de la comunidad mundial para asegurar una aportación sostenida de recursos para tal desarrollo. El Sudán, por ejemplo, es desesperadamente pobre, con un producto nacional bruto aproximadamente igual a los ingresos netos de la compañía IBM en 1974. Desde esta base económica, los sudaneses por sí solos no pueden drenar sus pantanos, regular sus lluvias y establecer una economía agrícola sobre sus inmensos recursos de tierra.

La segunda posibilidad, y con mucho la más importante, para aumentar la producción de alimentos consiste en intensificar la agricultura en las zonas que ya se cultivan o se dedican al pastoreo. La capacidad productiva de estas zonas no puede ponerse en duda: ya están manteniendo a casi los dos tercios de la humanidad sobre unos cimientos tecnológicos tradicionales y de bajo rendimiento. Si estos recursos se explotaran con medios modernos, ningún niño necesitaría conocer el hambre, ni pueblo alguno habría de temer la hambruna. Por ejemplo, si se regulasen sus aguas glaciares y su pluviosidad y si sus agricultores estuviesen apoyados por modernos servicios ajenos al agro, los 40 millones de hectáreas de la llanura del Indo-Ganges-Bramaputra, de Pakistán, Bangladesh y la India tendrían un rendimiento de más de 20 toneladas métricas de granos de cereales por hectárea y por año, o sea, alrededor del 80 por ciento de la actual producción mundial de cereales. El coste de capital sería sin duda elevado, quizás de hasta unos 50.000 millones de dólares durante los próximos 25 a 30 años, pero tal cifra no es más que el 17 por ciento aproximadamente del gasto global calculado para armamentos y establecimientos militares sólo en el año 1976. Estas cuencas hidrográficas, si se desarrollaran, satisfarían por sí solas las necesidades alimentarias del mundo durante los próximos catorce años, aun suponiendo que la demanda creciera a razón de 4,25 por ciento por año.

Comentarios parecidos pueden hacerse sobre casi todas las zonas agrícolas de las regiones tropicales y subtropicales. En el caso de Asia Meridional, que acabo de citar, existe sin embargo la ventaja de que ya existe una economía rural de desarrollo bastante elevado; lo que ahora se precisa es una gran inversión en transformación estructural, para conseguir que todo el sector rural pueda acomodarse a las exigencias de una agricultura de elevada productividad. Esta transformación estructural es la fase final del modelo en cuatro etapas del desarrollo agrícola. La etapa primera y más larga es la de la agricultura tradicional, apoyada en utillajes y prácticas tradicionales y cuyo regadío depende de la lluvia. En la segunda etapa, la productividad de la tierra mejora mediante el regadío y el avenamiento, así como por el enriquecimiento del suelo en nutrientes a través de la incorporación de materiales orgánicos y por la mejor cronología de los cultivos, gracias a las herramientas agrícolas perfeccionadas. La tercera etapa viene señalada por la introducción de técnicas científicas de cultivo. Un avance típico de esta etapa lo constituye el cultivo de variedades enanas en tierra regada y con fertilizante comprado; otro avance consiste en la introducción de vacunas y baños para controlar las enfermedades del ganado. La cuarta etapa consiste en la transformación estructural de una economía rural, lo que supone establecer la gama completa de instituciones e infraestructuras necesarias para sostener una agricultura de elevada productividad.

La historia de la agricultura japonesa proporciona el ejemplo más claro de las cuatro etapas. La agricultura japonesa tradicional, dependiente de las lluvias, daba rendimientos de arroz de menos de una tonelada métrica por hectárea. La ampliación del regadío que se produjo entre los años 600 y 1850 elevó los rendimientos a 2,5 toneladas. La restauración Meiji de la década de 1870 inició un largo período de innovación científica en el que se investigaron variedades de alto rendimiento, la utilización de fertilizantes y otros productos químicos, el perfeccionamiento de los enseres y mejores prácticas agronómicas, todo lo cual fue probado por una red de estaciones de investigación de las prefecturas y luego se enseñó prácticamente a los campesinos. Entre fines del siglo pasado y la Segunda Guerra Mundial, los rendimientos del arroz aumentaron de 2,5 a 4 toneladas por hectárea. Después de la guerra, la reorganización de las tierras cultivadas, el reforzamiento de las industrias de suministros, de comercialización de productos agrícolas y de los canales comerciales y la fundación de más escuelas e institutos superiores para agrónomos. En resumen, la transformación estructural en una moderna y compleja economía rural elevaron los rendimientos del arroz al nivel actual de casi seis toneladas por hectárea, y muchos observadores creen que en un futuro no muy lejano se alcanzarán las 8 toneladas.

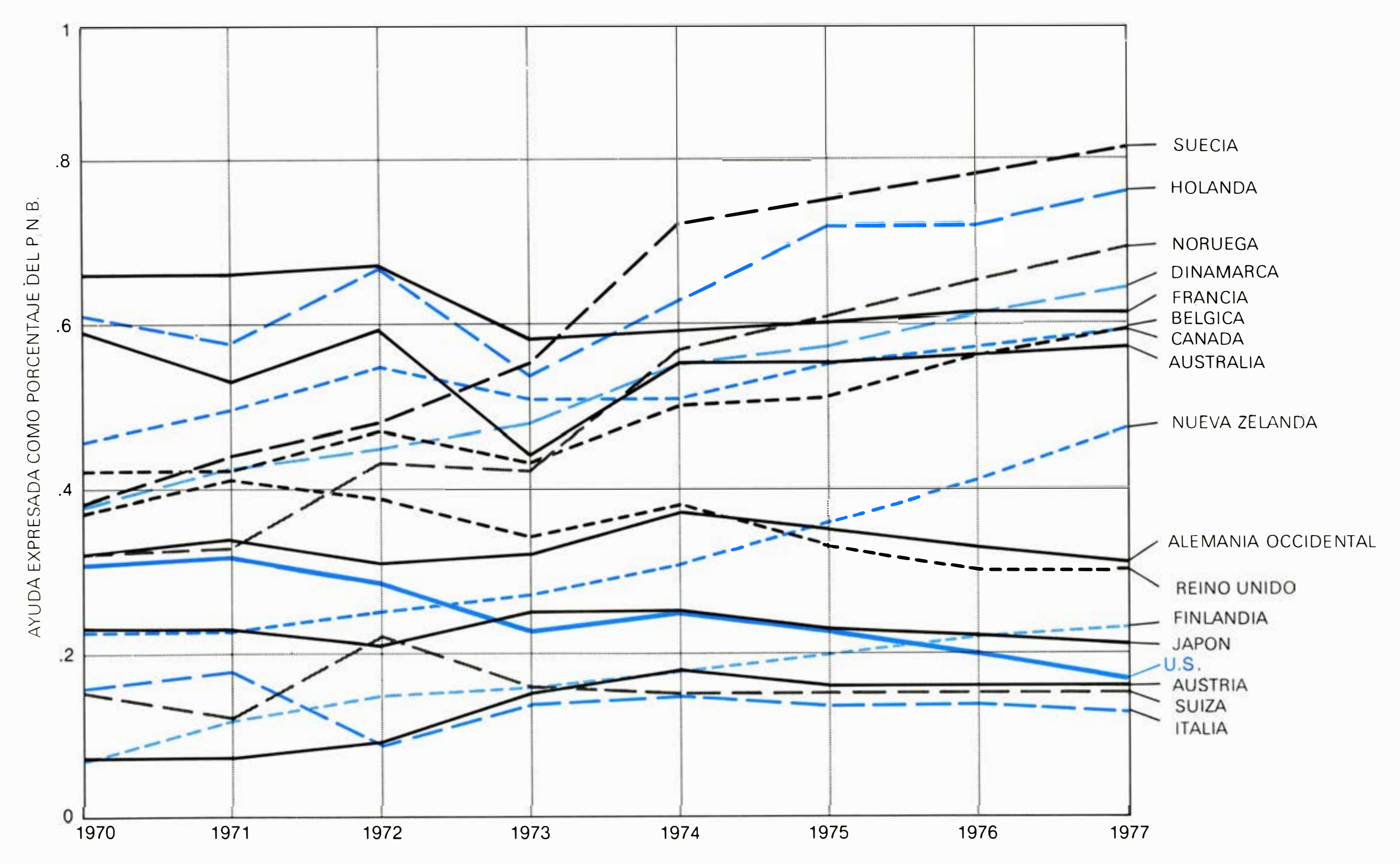
A diferencia de Japón, la mayoría de las demás naciones asiáticas se encuentran apenas en el tránsito de la primera a la segunda etapa, de la agricultura tradicional a otra basada en una mayor productividad de la tierra. La am-

pliación del regadío y del drenaje, indispensable para el cultivo arrocero de alta productividad, se está llevando a cabo laboriosamente en las naciones del sur y del sureste asiático. Exceptuando Malasia occidental, en donde está bien desarrollado el potencial de regadío, los rendimientos del arroz están aún por debajo de las dos toneladas por hectárea. La introducción de nuevas tecnologías productivas y las nuevas variedades enanas de gran rendimiento se han circunscrito en estas naciones casi por completo a las zonas de regadío, lo que supone cerca del 30 por ciento de la superficie cultivada en la India y Pakistán. Es más, los datos con que contamos actualmente demuestran que en la entrada de los países asiáticos en vías de desarrollo en la etapa de la innovación tecnológica depende de una previa inversión de capitales en la productividad de la tierra. Es decir, que la segunda etapa ha de preceder a la tercera.

La mayor parte de Africa continúa aún en la primera etapa de la agricultura tradicional. Para que el potencial de sus suelos pueda convertirse en realidad, las naciones africanas, las más pobres del mundo, deben prepararse a efectuar una inversión colosal en productividad de la tierra, en investigaciones agronómicas científicas, en servicios de extensión agrícola y en el desarrollo estructural de sus economías en dicho sector. Grandes zonas de Africa están y continuarán estando dedicadas principalmente a la ganadería. La creación de abrevaderos, mejores empastadas, centros de control de enfermedades, instalaciones para conservas cárnicas y equipamientos de todo tipo, podrían incrementar notablemente la capacidad que tiene Africa para aumentar los abastecimientos mundiales de alimentos, especialmente los de proteínas. Africa cuenta ya con ejemplos de moderno desarrollo agrícola que permiten intuir sus posibilidades. Algunas de las zonas en que se asentaron agricultores europeos figuran entre las más productivas del mundo. Su elevada productividad puede atribuirse a las grandes inversiones realizadas en caminos, almacenes de suministros, mercados, maquinaria agrícola, investigación y extensión y organizaciones de agricultores, así como en las instituciones económicas y políticas estatales necesarias, en su conjunto, para que todos esos elementos funcionen.

En Latinoamérica, donde hay abundancia de tierras no cultivadas o cultivadas en forma tradicional, los problemas globales no se diferencian de los africanos. La reciente expansión de la agricultura brasileña, si se mantiene, pronto llevará a esa nación a los mercados de exportación de cereales. Si los planes de desarrollo de Venezuela y Colombia tuviesen siquiera un éxito parcial, esos países serían también aportadores netos a los suministros mundiales de alimentos. Chile, Argentina y Perú poseen grandes posibilidades agrícolas inexplotadas que no se están aprovechando hoy en día por las políticas económicas y de desarrollo rural gubernamentales.

La producción de cosechas aisladas, cultivadas en tierras que ahora se explotan para la agricultura o la ganadería con técnicas tradicionales, puede multiplicarse por cinco o por seis, como ha ocurrido en Japón, o al menos por un factor de 2 a 4, como ha sucedido en los llanos centrales de Norteamérica, de reducida pluviosidad. Con ello casi se duplicaría la producción mundial actual. Si se ex-



LOS PAISES DESARROLLADOS están dedicando ahora a la ayuda oficial al desarrollo una proporción menor de su producto que a mediados de la década de 1960. Las curvas muestran dicha ayuda como porcentaje del producto nacional bruto en los países miembros de la OECD. La meta de las Naciones Unidas para la ayuda oficial al desarrollo es de 0,7 por ciento del PNB. La proyección de los desembolsos hasta 1977 fue hecha por el Banco Mundial fundándose en las declaraciones de política exterior y en los fondos ya asignados por varios países.

plotase el potencial de cosechas múltiples que tienen los trópicos cálidos, la producción global podría ser cinco o seis veces superior a su nivel corriente, que es de 1200 millones de toneladas métricas de cereales aproximadamente.

Para realizar cultivos múltiples e intensivos en los trópicos se precisa un extenso regadío y una mecanización de la labranza. El contar con agua suplementaria en las estaciones secas es un requisito indispensable para obtener de la tierra dos o tres cosechas al año. Y los breves intervalos entre cosechas exigen una rápida preparación de la tierra y una oportuna y cuidadosa secuencia de las operaciones agrícolas, lo que sólo puede lograrse mediante equipos y fuentes de energía modernos. Los resultados son espectaculares. Los rendimientos obtenidos del monocultivo pueden triplicarse en el curso de un año si se acortan los intervalos entre siembras y se utilizan variedades de rápida maduración. La rotación de cultivos sinérgicos hecha de manera que se solapen de una siembra a la siguiente, puede aumentar la producción de la tierra en otro 50 a 60 por ciento. El efecto conjunto –mejoramiento de los rendimientos por cosecha en cada segmento de una rotación de cultivos múltiples– ha elevado la producción total de una hectárea de terreno desde un nivel tradicional de una cosecha de menos de dos toneladas por año a otro de más de 20 toneladas. Dichos resultados se han logrado en precios experimentales cuidadosamente controlados; los agricultores comunes y corrientes, asesorados adecuadamente, podrían esperar que sus rendimientos actuales aumentasen de cinco a siete veces.

Cuando se examinan el vasto panorama de la agricultura tropical y la tecnología que ya está disponible o lo estará en breve, no puede haber razón alguna para el pesimismo acerca de las posibilidades que tiene el mundo para alimentar a números crecientes de población durante un dilatado futuro. El problema está en saber si ese potencial latente podrá domeñarse en beneficio del hombre. Se ha hablado mucho, tanto en los países desarrollados como en los que están en vías de desarrollo, sobre la necesidad de acelerar el desarrollo agrícola. La necesidad continúa existiendo, pero no se están adoptando las acciones políticas requeridas.

Parte de la culpa puede achacarse a los propios países en vías de desarrollo. El desarrollo es costoso y suele haber otras alternativas de modernización, muchas veces más espectaculares, que compiten ventajosamente con él por la consecución de los escasos recursos disponibles. Por otro lado, el desarrollo rural presenta complicados aspectos políticos. Los habitantes de las ciudades saben hacer oír mejor su voz, y sus demandas son más urgentes y visibles que las de un campesinado tradicional. La práctica de mantener baratos los alimentos para apaciguar a los consumidores urbanos conduce a menudo a políticas que destruyen el incentivo económico para modernizar el campo. Y los países ricos ofrecen siempre alimentos en condiciones de concesión fácilmente negociable. La generosidad alimentaria de los países industriales, ya sea por su propio interés (eliminar los superávit de alimentos) o disfrazada de presunta justicia distributiva, ha hecho probablemente más por minar la vitalidad del desarrollo agrícola en el mundo subdesarrollado que cualquier otro factor aislado. La ayuda alimentaria no sólo ha embotado la voluntad política de desarrollar la agricultura, sino que, al aumentar la producción nacional con cereales cultivados en el extranjero, ha mantenido los precios locales a unos niveles que destruyen los incentivos para los agricultores del país. En fin, el poner a disposición de los países en desarrollo excedentes baratos de alimentos en épocas normales, ha reforzado la tendencia, ya de por sí fuerte en esos países, a descuidar la agricultura local; para sus presupuestos nacionales, resulta más fácil cultivar los campos de los Estados Unidos y de Canadá que los propios.

Entre las naciones en desarrollo grandes y populosas sólo China parece haber conseguido que su desarrollo agrícola alcance un equilibrio aproximado con la demanda. China importa trigo y exporta arroz; el saldo neto se ha inclinado recientemente hacia las importaciones, pero desde 1971, aproximadamente, China ha sido básicamente autosuficiente en alimentos. Es difícil hallar datos fiables sobre China, pero, a juzgar por los disponibles, la producción agrícola creció cerca del 3,4 por ciento anual entre 1960 y 1974. Los cálculos del crecimiento demográfico de China son aún más incompletos, pero parece que ha oscilado entre 1,5 y 2 por ciento anual, estando en descenso. Si estos datos son correctos, y dejando aparte las emergencias, China tiene buenas perspectivas para su situación alimentaria.

China ha logrado en gran medida su crecimiento agrícola mediante la movilización y la disciplina de su contingente laboral agrícola. Está bien documentado el papel desempeñado por los cuadros políticos proporcionando directivas y control social dentro de la estructura de comunas. Los incentivos personales, la asignación de faenas y la aplicación estricta de la disciplina social multiplican la eficacia de los métodos tradicionales, intensivos en mano de obra. Los chinos están poniendo énfasis también en los modernos insumos técnicos, los cuales aumentarán notoriamente en el futuro conforme se cumpla el plan para lograr una enorme expansión de la capacidad de producción de fertilizantes.

La experiencia china se apoya en la filosofía maoísta de que el camino hacia el comunismo en China pasa a través de sus masas rurales y no a través del fuerte desarrollo industrial propio del modelo ruso. Al revés que la mayoría de los demás países en vías de desarrollo, China ha concedido una posición privilegiada en su desarrollo a la transformación de la agricultura tradicional. Es discutible si los métodos chinos de efectuar la transformación son aplicables a otras sociedades y otras culturas; es posible que las características singulares de la cultura china hayan sido más importantes para el éxito de su programa rural que ninguna técnica especial para lograr el cambio político y social. Otros países, entre los que destaca Tanzania, están experimentando con formas de desarrollo social que adaptan muchos aspectos del modelo chino a sus propias circunstancias. Es demasiado pronto para juzgar estas actuaciones, pero merece la pena observarlas por lo que puedan enseñar.

Dejando aparte la ayuda alimentaria, el historial de las naciones desarrolladas no es mejor que el de la mayoría de aquellas en vías de desarrollo. Consideradas como grupo, las naciones ricas han estado dedicando unas proporciones decrecientes de su producto bruto a la ayuda oficial para el desarrollo de las naciones no desarrolladas. Un porcentaje inadecuado de esa ayuda se dedica a fines agrícolas y a otros objetivos rurales: en 1974 fue de alrededor del 23 por ciento, es decir algo más de 2600 millones de dólares, monto muy inferior al necesario. Además, gran parte de esa cifra cubre lo que se denomina asistencia técnica, lo que significa pagar a los propios conciudadanos para que trabajen en países en vías de desarrollo. Y eso no proporciona capital, que es lo que más necesitan los países pobres.

En la Conferencia Mundial sobre Alimentación celebrada en 1974 se dio una cifra de 5000 millones de dólares anuales durante los próximos 20 a 25 años como un cálculo moderado de las divisas que los países en vías de desarrollo necesitan intervenir en la producción de alimentos para que pueda asegurarse año tras año el abastecimiento de alimentos a nivel mundial. Para movilizar dichos recursos, la Conferencia pidió la creación de tres nuevos organismos internacionales: el Consejo Alimentario Mundial, el Grupo Asesor de Producción e Inversión en Alimentos y el Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola. Desde la conferencia de 1974 ha habido ciertos avances. El consejo, organismo de representantes de los ministerios de agricultura de 36 naciones, se ha reunido dos veces desde entonces a fin de pasar revista a los esfuerzos realizados para poner en práctica el desarrollo global de la agricultura y de la capacidad de producción de alimentos. El grupo asesor está intentando coordinar las inversiones mundiales en agricultura. La creación del fondo internacional se acordó formalmente en junio, con una dotación inicial de cerca de 1000 millones de dólares, aportados por los países industriales de Occidente y los miembros de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP). En el presente año, los países árabes establecieron un organismo árabe para la inversión y el desarrollo agrícolas, con una capitalización inicial de 525 millones de dólares y un plan de seis años para la inversión de 2800 millones de dólares en el desarrollo rural y la producción de alimentos en el Oriente Próximo, con especial énfasis en el desarrollo de los recursos del Sudán meridional. Los diversos organismos del Bando Mundial han otorgado prioridad a la agricultura y al desarrollo rural, duplicando en 1975 su ayuda para estas partidas respecto de 1974.

Aun considerado en términos de amortización, el capital empleado en la tecnología y en la infraestructura agrícola está bien invertido. El sistema de regadío ofrece un ejemplo claro. Un enfoque global, a largo plazo, de la seguridad alimentaria tiene que contemplar el desarrollo de los recursos hidráulicos y la extensión generalizada de las técnicas de regadío modernas. La confirmación más palmaria de ello se encuentra en Israel, donde la producción agrícola se ha multiplicado por ocho en los últimos 25 años, gracias sobre todo al eficaz aprovechamiento del agua. El desarrollo moderno de los recursos hidráulicos y los trabajos de regadío y drenaje exige una cara y decidida inversión. Una investigación contemporánea patrocinada por el Ministerio francés de Cooperación ha puesto de relieve que podrían aprovecharse los ríos y lagunas subterráneas de la zona semiárida de Sahelian, en Africa, escenario reciente de una sequía y escasez pertinaz, durante los próximos 75 años para aportar agua a los cultivos de casi 2,5 millones de hectáreas, a un coste ligeramente superior a los 25.000 dólares por hectárea. Las ganancias de tal inversión son difíciles de calcular, pero una estimación moderada de la producción sería de 10 toneladas de cereales por hectárea y por año, o una producción de unos 1500 dólares por hectárea; es decir, un 6 por ciento de ganancia bruta. Esto representa una ganancia mínima, ya que es probable que tierras de esta calidad se explotarían para cosechas de mayor rendimiento económico que el que proporcionan los cereales.

Sin embargo, la pregunta que debe inquietar a la humanidad no será tal vez a propósito de las ganancias de las inversiones, sino ésta: ¿Cuál será, a largo plazo, el coste de no iniciar ahora un programa de inversiones en el suministro de alimentos para el hombre del futuro? El desarrollo de los recursos hidráulicos tiene un largo período de gestación antes de rendir beneficios, y lo mismo ocurre con otros elementos de modernización de la agricultura. Los dirigentes políticos de los países ricos y de los pobres suelen mirar muy cerca; les preocupan los intereses inmediatos. Pero los suministros de alimentos en el futuro dependen no sólo de la aplicación de más fertilizantes este año o el próximo sino, además del compromiso conjunto y compartido de los países desarrollados y en vías de desarrollo en pro de un costoso y duradero plazo para potenciar los recursos agrícolas no explotados.

Conviene darse cuenta de que el problema alimentario mundial no surge de ninguna limitación física en la producción potencial o de algún peligro proveniente de la excesiva presión sobre el medio ambiente. Los límites a la abundancia deben buscarse en las estructuras sociales y políticas de las naciones y en las relaciones económicas entre ellas. Los recursos alimentarios sin explotar están ahí, entre cáncer y capricornio. El éxito en la buena administración de estos recursos depende de la voluntad y de la acción humana.



Química y tecnología del arroz

El arroz, alimento básico en muchísimos países, posee gran capacidad nutritiva dado el alto valor proteico de las partes externas del grano, que suelen despreciarse a lo largo del proceso de elaboración del mismo

E. Primo Yúfera y S. Barber

Entre los cereales que constituyen el soporte básico de la alimentación humana, como ha podido ir viendo el lector a lo largo de estas páginas, el arroz ocupa nutritiva y cuantitativamente un lugar preponderante. Aquí nos ocuparemos de un problema complementario y que puede mostrar la pauta a los demás cereales: el máximo aprovechamiento de todo el grano, su elaboración y la tecnología de los subproductos.

El cultivo del arroz se ha extendido en la actualidad más que cualquier otro cereal. Su región de producción oscila desde los 48° 8' de latitud Norte hasta los 37° 2' de latitud Sur. Se cosecha en las altas montañas y a nivel del mar; en tierras de secano, sumergido en el agua –que es el cultivo más usual–, o simplemente flotando en ella. La República de Khemer ofrece un ejemplo interesante de esta variedad de siembras: cultiva arroz de tierras altas, sembrado en las colinas, en arrozales sin diques ni inundación, a merced exclusivamente de la lluvia; cultiva también arroz de tierras bajas en suelo arenoso, arenoso/arcilloso o aluvión/arcilla; y, por último, cultiva arroz en las zonas inundadas del Mekong y otros ríos, en los grandes lagos, donde la profundidad de las aguas alcanza cinco metros en marea baja (es el llamado arroz flotante). De todas esas modalidades, la más generalizada es el cultivo en campo inundado, y es la única que se sigue en España. También es la más productiva; si bien exige abundante provisión de agua. En la página 79 se muestra un mapa de la producción mundial de arroz.

El área cultivada de arroz ronda los 140 millones de hectáreas; 126 millones de las cuales pertenecen a los cultivos de Asia. Europa, excluyendo a la URSS, no cultiva más de 390 000 hectáreas. Del área total cultivada, 4 millones de hectáreas corresponden a países desarrollados, 96 millones a países en vías de desarrollo y el resto –40 millones– a países de economía centralizada.

La extensión total del cultivo en España es de unas 60 000 hectáreas. Tres zonas arroceras producen más del 80 por ciento de la cosecha nacional. La zona sur, en el estuario del Guadalquivir con más de 22 000 hectáreas, y en Extremadura, con unas 6000 hectáreas. La zona de Valencia, en las tierras próximas a la desembocadura del río Júcar (Mediterráneo), con unas 16 000 hectáreas. Por último, la zona del delta del Ebro, con unas 13 000 hectáreas.

Los arrozales del mundo alcanzaron una producción, en la última cosecha, correspondiente a 1975, de unos 340 millones de toneladas, de los cuales 308 millones se recogieron en Asia. De la producción mundial total, 24 millones de toneladas se cosecharon en los países desarrollados, 186 millones en los países en vías de desarrollo y 130 millones en países de economía centralizada. España tiene una producción anual de 350 mil toneladas. De ellas, 133 mil corresponden a la zona de Sevilla (Sur), 102 mil a la de Valencia (Este), 83 mil a Tarragona (Nordeste) y el resto a Extremadura (Oeste). Si hacemos la proporción entre extensión de los arrozales y producción total de los mismos, deduciremos el rendimiento promedio mundial, que es próximo a los 2400 kg de arroz cáscara por hectárea. Australia y España ostentan los rendimientos más altos de todo el mundo, con cifras que superan los 600 kilogramos por hectárea.

A la siembra del cereal le precede una preparación conveniente de la tierra en que se cultiva. La siembra se hace en los arrozales (siembra directa) o en los planteles, para trasplantar los manojos posteriormente. En España se practican ambos sistemas, si bien el primero se está generalizando aceleradamente. La siembra de los planteles se hace a voleo, sobre el campo inundado, con semilla mantenida a remojo durante 24 horas, a razón de 1200 a 1400 kg por hectárea. Antes de dos meses, el plantel está listo para el trasplante, que se realiza a mano o mecánicamente, con una densidad de 50 a las 100 plantas por metro cuadrado. A los 40-45 días del trasplante, se retira el agua; 10 días más tarde, comienza la cosecha. La siembra directa se realiza a voleo manualmente, por máquinas sembradoras o desde el aire por avión. En la siembra normal, a mano, se emplean de 120 a 150 kg por hectárea, y algo menos en el caso de la sembradora. El ciclo vegetativo o de desarrollo de la planta varía según las distintas razas, si bien la cota inferior se coloca en 80 días y la superior en 200. Las variedades usuales exigen alrededor de 150 días. En el caso de España, el promedio de siembra por plantel es de 170 días y de unos 140 en siembra directa.

Las condiciones genéticas de la planta, es decir, la variedad a que pertenece, y el clima en que se desarrolla determinan la frecuencia de recolección o de co-

LOS ARROZALES DE LA ALBUFERRA (Valencia, España), en la página opuesta, tienen una larga historia que se remonta hasta la invasión árabe. La extensión total de cultivo en España es de unas 60 000 hectáreas. Tres zonas arroceras producen más del 80 por ciento de la cosecha nacional española: la zona sur, en el estuario del Guadalquivir, la zona de Valencia y el delta del Ebro. En los últimos veinte años, la producción mundial de arroz ha aumentado en un 88 por ciento y la producción del mismo por hectárea ha aumentado en un 33 por ciento.

sechas; éstas, por año, pueden ser hasta tres. Tres se obtienen en Taiwan, pero en España, a pesar de las avanzadas técnicas de cultivo, no se logra más de una. La recolección anual ha ido dejando paso a una mecanización cada vez más compleja, gracias al avance conjunto en este terreno de ciencia y tecnología, La siega manual sigue practicándose todavía en muchas partes. Por ejemplo, en Tailandia emplean los arroceros una suerte de hoz, llamada "kae" que corta los tallos uno a uno; el tamaño uniforme así logrado facilita la confección de manojos de espigas, forma en la que el grano se almacena y conserva bien, sin necesidad de trillar después, faena que, como se sabe, es la siguiente a la recolección propiamente dicha. En el polo opuesto, las cosechadoras-trilladoras de los países desarrollados recogen 5000 kilos de grano por hora.

A veces, la trilla es tan rudimentaria como la siega. Las trilladoras de pedal constituyeron un avance significativo. Pero todavía se practica con animales de tiro; e incluso, como sucede en la República de Khemer, Nepal y la India, se trilla el arroz a mano, golpeando las gavillas sobre una superficie de madera; una cuadrilla de cuatro hombres puede trillar en estas condiciones unos 200 kg de arroz por hora. En este último caso se da además el agravante de la pérdida de un 10 por ciento de granos que queda en la paja.

Cuando las espigas se doran y los granos se secan y endurecen, interesa cosechar cuanto antes. Hay que proteger a la planta de las lluvias y del granizo, del viento que encama o doblega la planta y desprende los granos de la espiga, y de los pájaros y roedores. Sin embargo, la siega prematura perjudica la calidad de la molienda, que es otra etapa en el tratamiento del arroz, como se verá. Y lo mismo cabe decir de la siega tardía, en la que además influye el sol y el rocío que fisuran el grano maduro, que así afectado se romperá en la trilla. Para el buen término de ésta se exige que el grano tenga una consistencia blanda y elástica adecuada, compaginable asimismo con el proceso de molienda. Por tanto, la humedad ideal del grano oscilará, en su cosecha, entre el 21 y el 23 por ciento. Si la humedad sólo alcanza el 15 por ciento, el grano se hace duro y frágil. A la humedad ideal se excluye la diferencia de 5 unidades por ciento que generalmente existe entre los granos de la parte alta y los de la parte de la panícula. (La panícula especiforme, propia de algunos cereales como el arroz, es la inflorescencia que tienen las ramitas cortas y aproximadas al eje vertical de la inflorescencia, por lo que toma formas de espiga.) En la práctica se cosecha poco antes de que los granos de la punta comiencen a fisurarse. Hoy se puede ya mejorar la uniformidad del grado de maduración y de la humedad mediante pulverización con salmuera, algún tiempo antes de la cosecha.

Después de la trilla viene la operación de secado. El grano soporta una flora microbiana típica que procede del propio suelo (*Helminthosporium, Nigrospora, Fusarium, Curvularia* y *Alternaria*) y del almacén (*Aspergillus, Penicillium, Rhizopus* y *Mucor*). Los mohos Ficomicetes y Ascomicetes se desarrollan a partir del 75 por ciento de humedad relativa del aire. Otros, como el *Aspergillus*, pueden desarrollarse a niveles mucho más bajos. Fijada la humedad conveniente, la temperatura que más les favorece oscila entre los 25 y los 35° C. Algunos de estos microorganismos son vectores de micotoxinas, muchas veces de efectos letales. La aflatoxina, que

EL GRANO DE ARROZ se compone de una masa de células repletas de gránulos (endospermo amiláceo) rodeada por una serie de capas uni o pluricelulares. Estas, desde el interior hasta el exterior son: capa aleurónica, cubierta de la semilla, endocarpio, mesocarpio y epicarpio. Se representan parcialmente levantadas para facilitar su visión. Todas estas capas se encuentran a su vez, recubiertas por dos glumas fibrosas (palea y lema), que constituyen la cascarilla y envuelven al grano como las dos valvas de un molusco. En la parte abdominal inferior se encuentra el germen, del que más tarde nacerá la nueva planta.

es micotoxina producida por el *Aspergillus flavus*, encierra un enorme poder tóxico.

Los insectos tienen asimismo sus requerimientos de humedad y temperatura. Generalmente, las necesidades de unos y de otros caen dentro de los intervalos normales de humedad relativa y de temperatura de las zonas arroceras. Para evitar el desarrollo de unos y otros, y la consiguiente alteración del arroz, el grano debe almacenarse después de reducir su contenido de humedad al 14 por ciento.

Pero la operación de secado no se reduce a rebajar la humedad relativa del arroz. Hay que evitar también el fisurado fácil del grano, pues los quebrados que de él se producen merman el valor comercial del producto. Las fisuras se originan por secar demasiado deprisa y formarse un gradiente de humedad excesivo entre el centro, en donde se encuentra el almidón, y la superficie del grano. En la práctica industrial el fisurado se evita secando el arroz en varias etapas; en cada una de las cuales se rebaja la humedad un poco más, aproximadamente en dos unidades por ciento. Sigue luego una etapa de reposo que elimina el pequeño gradiente creado. Este proceso de secado se lleva a cabo en secadoras continuas, con aire caliente a una temperatura aproximada de 50º C. El proceso rinde más si previamente se ha limpiado el grano. Tradicionalmente se ha venido secando el grano al sol, extendido en eras o en la misma carretera. Pero los riesgos de esa práctica ancestral son graves (la lluvia no es improbable y resulta, además, un secado heterogéneo).

EL CULTIVO DEL ARROZ se ha extendido en la actualidad más que cualquier otro cereal. Su región de producción oscila desde los 48º 8' de latitud Norte hasta los 37º 2' de latitud Sur. Se cosecha en las altas montañas y a nivel del mar, en tierras de secano, sumergido en el agua –que es la forma de cultivo usual– o, simplemente, flotando en ella o mediante trasplante del plantel.

El arroz que hoy se cosecha en las regiones y con los rendimientos vistos, es originario de dos focos diferentes. Uno, la faja de los monzones del sudeste asiático: India, Indochina y parte de China; de aquí procede la especie *Oryza sativa* (*Oryza* es el género de este cereal, y significa, en latín, arroz). El otro foco es el sector occidental y central africano; de allí procede la especie *O. glaberrima.* La primera se ha extendido por todo el mundo; es el arroz de grano blanco. La segunda especie se cultiva sólo en parte de Africa y, su grano, es rojo. El arroz salvaje, erróneamente llamado arroz, pertenece a una especie de género totalmente distinto: *Zizania aquatica;* se cosecha en las tierras pantanosas del noroeste de los Estados Unidos.

De Oriente vino a Europa, a raíz de la expedición de Alejandro Magno a la India. Y su trayectoria fue la siguiente: Persia, Turquía, Países mediterráneos y España. Los árabes la introdujeron en la Península Ibérica, siendo el centro inicial, desde el cual se irradiaría luego, la comarca de Sueca y las tierras próximas a la albufera valenciana (Este).

Las variedades cultivadas de *O. sativa* se clasifican en tres grupos o subespecies: *O. sativa indica,* que se cosecha en zonas tropicales; *O. sativa japonica,* propia de zonas templadas; y, por último, *O. sativa javonica* (también conocida por variedad *bulu*), que se siembra en zonas de clima ecuatorial, principalmente en las islas tropicales del sureste asiático. Las tres variedades divergen por sus propiedades morfológicas, agronómicas y de otros tipos. La *O. s. indica* suele ser alta, de crecimiento vigoroso, con muchas hojas y poder de ahijamiento, tardía, fotosensible, susceptible al encamado y adaptada a niveles bajos de fertilizante y cuidados mínimos. Su cariópside o fruto es alargado, fino y delgado. En la cocción da lugar a un grano consistente que no se pega y resiste bastante la cocción excesiva. El grupo *O. s. japonica* posee características de alto rendimiento, verbigracia: caña corta, con muchos tallos, abundante en panículas, de maduración temprana, resistente al encamado y responde bien a los abonos nitrogenados. Su cariópside es ancha, gruesa y redondeada. En la cocción se ablanda pronto y tiende a pegarse. El grupo *O. s. javonica* presenta características y propiedades intermedias.

La transición de cultivo del arroz *indica* a *japonica* es gradual. En el Japón sólo se cultiva el arroz *japonica,* mientras que en el sudeste asiático la mayoría de las variedades son de arroz *indica.* En muchos países se cultivan ambos tipos; así en la República Popular de China, Australia, Estados Unidos y Brasil. Recientemente los genetistas del Instituto Internacional de Investigaciones Arroceras (IRRI), de Filipinas, han desarrollado nuevas variedades de alto rendimiento con las que se espera aliviar la escasez

mundial de arroz. Las nuevas variedades del tipo *indica,* designadas con las siglas IR, dan rendimientos mayores que las variedades del tipo *japonica,* tradicionalmente más productivas. Las nuevas variedades poseen una semilla de gran vigor, con alta capacidad de ahijamiento, son de tallo corto y resistentes el encamado, responden bien a dosis altas de nitrógeno en el abonado, su ciclo vegetativo es corto (unos 120 días), se muestran insensibles al fotoperiodo y tienen moderada resistencia a los virus. Los granos son de longitud media y perlados. Los rendimientos en el molino suelen ser bajos, pero con variedades bien adaptadas se están logrando rendimientos normales. La calidad del arroz cocido es adecuada para las preferencias del consumidor de la mayoría de los países del Extremo Oriente.

El grano de arroz es un fruto en cariópside, puesto que la semilla constituye la mayor parte del mismo. Es ovalado y mide unos 8-10 mm de longitud en las variedades de grano largo, y redondeado, de unos 5-6 mm en las de grano corto. En la base tiene dos glumas estériles, pequeñas, y sobre ellas otras dos glumas florescentes; estas últimas, que reciben el nombre de lema y palea, son de longitud similar a la del grano, y constituyen la cascarilla que cubre la cariópside.

Aquélla representa el 20-30 por ciento en peso del grano. Debajo de la cascarilla se encuentran el pericarpio, el tegmen o testa que es la cubierta de la semilla, la capa aleurónica y el endospermo amiláceo. El endospermo amiláceo representa el 65-70 en peso del grano. El pericarpio, que consta de unas seis capas celulares, tiene un espesor variable (20-60 micras).

En el pericarpio se distinguen tres zonas: exocarpio, mesocarpio y endocarpio. El exocarpio es una capa unicelular, con células aplastadas, dispuestas en paralelo al eje mayor del grano; el mesocarpio consta de 2-5 capas, cuyas células están orientadas transversalmente; el endocarpio, que es la capa más interna, está formada también por células.

El tegmen consta de la capa hialina, que es una vaina cuticular lipoidea, el espermodermo o cubierta seminal, y el perispermo o tejido reservante. La capa aleurónica no es uniforme ni en espesor ni en número de capas, y tiene misión de reserva. Las variedades *japonica* tienen un número de capas superior a la *indica;* la capa aleurónica que cubre el germen es más delgada que en el resto del grano y sus células son más pequeñas.

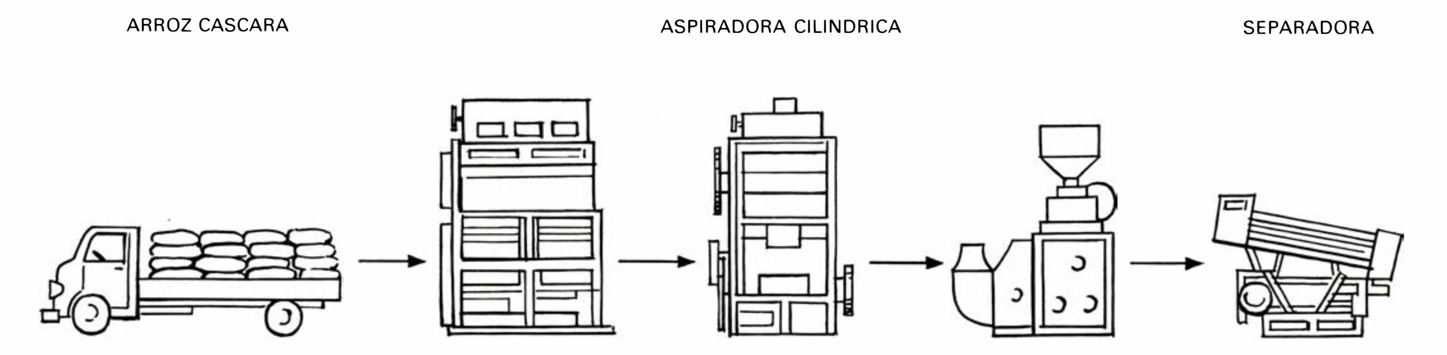
El endospermo es la estructura más interna del grano. La disposición de sus células, común a todas las variedades, es en forma enladrillada, radial en torno al centro. Las células del centro son casi isodiamétricas, y la proporción largo/ancho en sección transversal es 1, aproximadamente. Las células próximas al centro del grano son mayores, alargadas o aplastadas radialmente; las células adyacentes a la aleurona son más pequeñas y más aplastadas.

El germen se aloja en una concavidad situada en la región abdominal inferior del grano. Está cubierto por la capa de aleurona, el tegmen y el pericarpio, convenientemente prolongados. El germen posee una alta diferenciación histológica y una estructura anatómica compleja.

La composición química y la distribución de los constituyentes químicos en la cariópside determinan, en gran parte, las propiedades del grano de arroz para la cocción y los procesos industriales, así como su valor nutritivo y su comestibilidad.

El componente principal son los carbohidratos o azúcares, de los cuales el almidón es el más abundante. Siguen en importancia las proteínas. En menor proporción están las grasas y los minerales. La composición química del arroz depende de la variedad del cultivo. La variación en el contenido total del almidón no suele ser grande. Sí varía, en cambio, la proporción de los componentes del almidón, la amilosa y la amilopectina. La amilosa varía desde cero (arroz llamado "céreo") hasta más del 35 por ciento. El contenido proteico del arroz oscila entre un 5 y un 13 por ciento, si bien la variación más común se centra entre el 7-9 por ciento. A veces, entre lotes de una misma variedad, e incluso entre granos de una misma espiga, se suelen registrar diferencias del orden de 5-7 unidades por ciento.

La distribución de los componentes en el grano, según zonas, es muy heterogénea. Las capas externas de color pardo, que en el blanqueo se separan como salvado, son ricas en proteínas, grasas y vitaminas del grupo B. La molienda ocasiona, pues, cambios drásticos en la composición química. El grado de elaboración determina la cantidad de nutrientes en el grano de arroz residual. Y así, por ejemplo, las proteínas, las grasas, las vitaminas y los minerales existen en mayores cantidades en el salvado separado que en el endospermo o grano remanente. El conocimiento de esta realidad



POR LA ELABORACION o molienda, el arroz cosechado se convierte en el producto blanco que llega al consumidor. El arroz cosechado se limpia de las impurezas (limpiadora y aspiradora), a continuación se le separa la cascarilla fibrosa que protege al grano exteriormente y que es incomestible (descascaradora); se abandona la cascarilla (separadora) y el arroz resultante (llamado también arroz moreno, o descascarillado), se somete al blanqueado o pulido (pulidora de esmeril, pulidora de fricción y abrillantador), gracias al cual se disocian las capas periférica del gra-

contribuyó en el pasado a paliar la malnutrición y enfermedades por carencia de nutrientes, en países donde el arroz es parte de la dieta.

Aunque el principal aporte del arroz a la dieta es el calórico, el proteico es importante, especialmente en países cuya alimentación se basa en este cereal. El arroz contiene poca proteína. Los esfuerzos para mejorar por vía genética el contenido proteico del arroz son prometedores. Ya se ha conseguido aumentar más de dos unidades por ciento de proteínas sin perjudicar otras propiedades de la planta o el grano. Las proteínas del arroz elaborado son ricas en glutelinas (75-90 por ciento) y pobres en prolamina (1-10 por ciento). El bajo contenido en prolamina contrasta con el de los cereales comunes, en los que representa del 30 al 60 por ciento de las proteínas totales. Esto es favorable, ya que la prolamina es pobre en lisina (0,5 g por 16,8 g N), y la lisina es un aminoácido esencial que escasea en la alimentación. La lisina es el aminoácido limitante de las proteínas del arroz, ocupando la treonina el segundo lugar; pero la digestibilidad de las proteínas, la disponibilidad de la lisina y la utilización proteica son mayores para el arroz que para otros cereales. El arroz contiene inhibidores de la tripsina y de las hemaglutininas. Están fundamentalmente localizados en el germen y en el salvado, y no afectan al valor nutritivo del arroz elaborado. Aunque el grano descascarillado contiene abundante tiamina, y otras vitaminas del complejo B, éstas se hallan localizadas en el salvado; por consiguiente, al elaborar el grano se van perdiendo y resulta un endospermo de escaso valor vitamínico. Se ha practicado extensamente el enriquecimiento artificial vitamínico del arroz, mediante la incorporación de una capa de una solución de vitaminas B_1, B_2, nicotinamida, Ca y Fe a una pequeña proporción de granos que luego se añaden a la totalidad.

Pero la heterogeneidad de la distribución no queda limitada a la capa de salvado. También se presenta en el grano elaborado. El estudio cuantitativo de tal distribución se ha realizado recientemente por un equipo, dirigido por los autores, del Instituto de Agroquímica y Tecnología de los Alimentos de Valencia (IATA). Para obtener los datos, separaron por abrasión, con un molino especialmente diseñado por ellos a tal fin, capas casi concéntricas de la cariópside, como si se tratara de desgajar las capas de una cebolla, y analizaron exhaustivamente las diferentes fracciones separadas. Actualmente se dispone de un auténtico y minucioso "mapa químico" del grano de arroz *(véase la ilustración de la pág. 162)*.

Consideradas ya su naturaleza anatómica y su composición química pasemos a describir su elaboración por una tecnología adecuada para su mejor aprovechamiento. El arroz, a diferencia de otros cereales, se consume principalmente como grano entero. El producto blanco usual del comercio es el resultado de un proceso de elaboración industrial en el que se desprenden las cubiertas externas (salvado) del grano. A la operación industrial se le llama impropiamente molienda, y molinos a las factorías. Y decimos impropiamente porque no se realiza en ellos una verdadera trituración sino una abrasión de las partes externas.

En la molturación o molienda se emplean diversos métodos y toda una serie de equipos que van desde el primitivo mortero y pilón manual a la más mecanizada instalación, precisa y automática, que moltura muchas toneladas por hora. El arroz dispuesto a la elaboración debe contener un 14 por ciento de humedad, aproximadamente. La cascarilla constituye alrededor de un 20 por ciento del peso total. Cuando ésta se separa queda el arroz "descascarado" o arroz "cargo", el cual se someterá al proceso de abrasión para separar el "salvado" y el arroz blanco elaborado. Este último se compone de granos enteros y quebrados.

El proceso de elaboración consta generalmente de las siguientes etapas: limpia previa, descascarado, separación, blanqueo y clasificación.

La limpia comprende la separación de las impurezas (piedras, polvo, partículas metálicas, semillas extrañas, paja y glumillas). Se lleva a cabo mediante aspiradores de polvo, tamices, deschinadoras y separadores magnéticos. La cascarilla se separa por fricción de discos, de esmeril y de carburo de silicio, uno estacionario y el otro rotativo, o por rodillos de caucho que giran a distinta velocidad. El blanqueo se realiza en blanqueadoras de tipo vertical de cono, normal o volcado (usual en Europa) o de tipo horizontal de forma cilíndrica (usual en Japón). Ambos tipos de máquinas blanquean el grano por abrasión, con superficie de esmeril-carburo de silicio. Un tercer tipo de blanqueadora pulidora (originaria de Japón) pule el arroz por medio de fricción de grano con grano. La etapa final de clasificación comprende la separación de los quebrados de los granos enteros, mediante zarandas y

PULIDORA DE ESMERIL

PULIDORA DE FRICCION

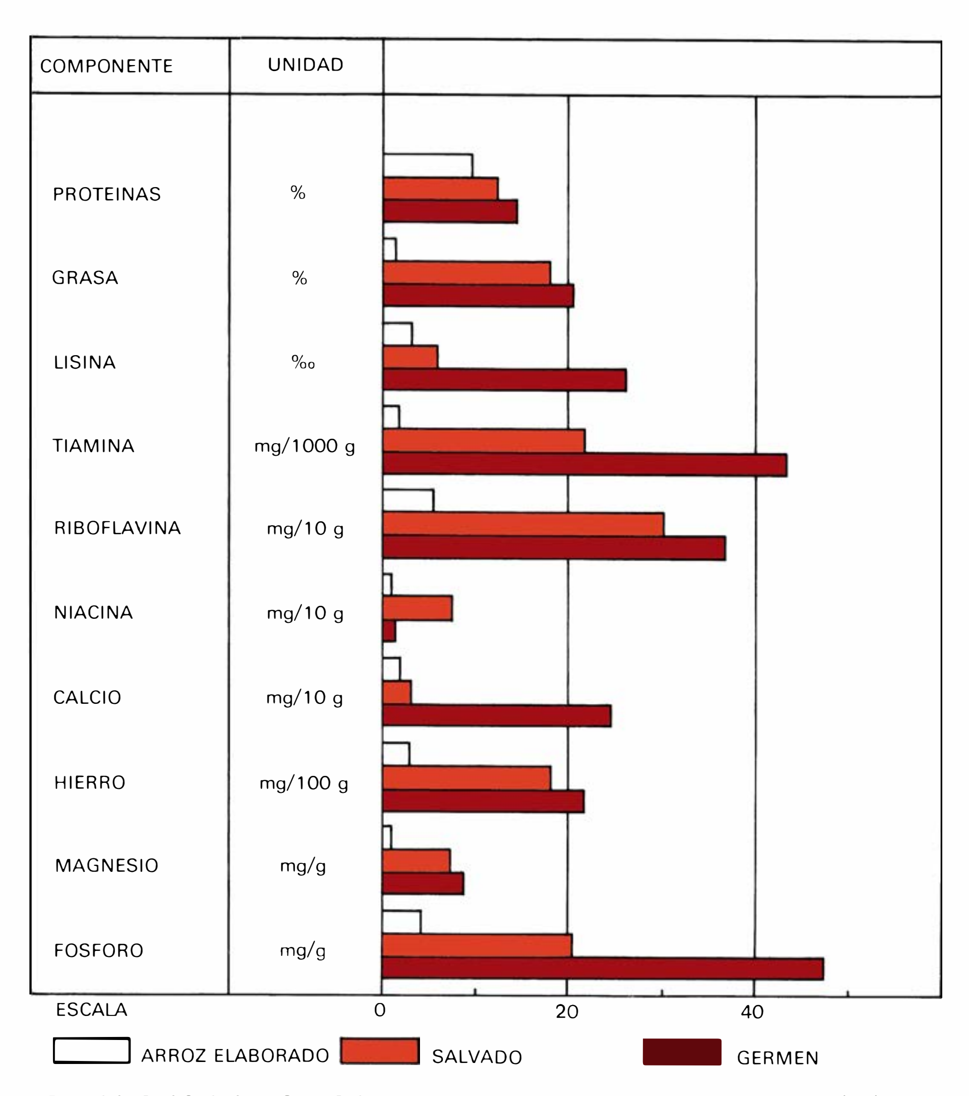
ABRILLANTADOR

CILINDRO CLASIFICADOR

EQUIPO DE ENVASADO

ARROZ BLANCO

no (pericarpio y cubierta de la similla), de color pardo, ricas en fibra no digerible y que constituyen el salvado. El arroz resultante, el blanco de comercio, se clasifica por tamaños y calidades (cilindro clasificador) y se envasa (equipo de envasado) para la venta. Este esquema, típico de Japón, se aplica con variantes accidentales en todos los países. En la valoración comercial del arroz blanco no suele determinarse la calidad de cocción. Esta propiedad, injustamente olvidada, depende de la variedad de la planta. Oriente prefiere los granos adherentes y, sueltos, Occidente.



LA COMPOSICION QUIMICA del grano de arroz, consta por orden cuantitativo decreciente, de almidón, proteínas, grasas, cenizas (elementos minerales) y fibra (celulosa, lignina, etcétera). Pero la concentración de estos constituyentes no es homogénea. Y así, si comparamos el arroz blanco de comercio con algunos subproductos de la molienda (salvado y germen), observamos que el germen es, en general, más rico en proteínas, grasa, aminoácidos esenciales (lisina), vitaminas y elementos minerales (calcio, hierro, magnesio y fósforo) que el salvado, y éste más rico que el arroz elaborado. La mayor parte de los nutrientes se separan en la molienda quedando unidos en los subproductos salvado y germen.

triarvejones. En ciertos países, como España, el germen se separa del salvado.

El arroz blanco del comercio representa sólo el 60-70 por ciento en peso del grano cáscara original. El resto lo constituyen los subproductos: cascarilla (16-21 por ciento), salvado (5-12 por ciento), germen (1,5-2,5 por ciento) y quebrados o medianos (5-15 por ciento). El volumen de subproductos es enorme. Sobre la base de los datos expuestos, la cosecha mundial de arroz daría la fabulosa cantidad de 110-145 millones de toneladas de subproductos, de los cuales más de un tercio corresponde a la cascarilla, de escaso valor.

Las distintas subfracciones de salvado, procedentes de conos de blanqueo sucesivo, difieren también en su composición. El contenido de proteínas es semejante. pero en el contenido de fibra y sílice hay una notable divergencia. En el salvado de los primeros conos, que elimina las capas más externas, puede llegar a ser de dos a tres veces mayor que en los últimos. La práctica industrial reciente mezcla todas las fracciones de salvado. Sin embargo, la segregación por separado de dos o tres tipos pudiera ser más conveniente.

En la valoración comercial del arroz blanco se considera, principalmente, la presencia de materias extrañas (granos quebrados, granos defectuosos, granos verdes y yesosos, etcétera). Sin embargo, no suele determinarse la calidad de cocción que es propiedad muy apreciada por el consumidor y en forma distinta según los países. Así, en Oriente, se prefiere el arroz con granos adherentes en cocción, en tanto que Occidente opta por el arroz suelto, de textura suave y homogénea, sin dureza y del núcleo ni pegajosidad de la superficie. El comportamiento en la cocción depende de la variedad. Es de calidad excepcional, para el gusto occidental, la variedad "bomba", que se cultiva en la zona de Sollana y Sueca, de Valencia (Levante). Es una variedad de grano que, sorprendentemente, se alarga mucho en la cocción. En general, las variedades muy cortas suelen ser adherentes. La adherencia del grano en la cocción está relacionada con el tipo de almidón del grano y con la proporción de proteínas en la superficie.

El almidón es un polímero formado por moléculas de glucosa encadenadas en forma lineal (amilosa) o en forma ramificada (amilopectina). Las largas cadenas lineales de amilosa pueden entrecruzarse formando geles fuertes, mientras que las moléculas más esféricas de amilopectina dan soluciones viscosas. Los arroces con mayor contenido en amilosa dan, en la cocción, granos más sueltos. Influye aun más la proporción de proteínas en la superficie del grano. La abundancia de proteínas de elevado grado de polimerización da lugar a granos más sueltos. Se puede mejorar la calidad de variedades pegajosas provocando la polimerización de proteínas de la superficie, por ejemplo, con vapores aldehídos o con quinonas. Un test rápido que mide las proteínas superficiales solubles en sosa, mediante el desarrollo de un color azul con una sal de cobre, permite valorar la calidad de cocción de las variedades y partidas comerciales.

Otro atributo de calidad es la blancura. Los consumidores prefieren el arroz blanco, pero la importancia del grado de blancura se ha exagerado. El sabor y el aroma tienen interés cuando se cuece sin condimentos. La calidad de molienda es importante para el molinero, pues determina la cantidad y la proporción de granos rotos, que influye en el precio; se evalúa en molinos experimentales de laboratorio. Otro factor a considerar es el grado de elaboración, es decir, de pulido o blanqueo, pero falta un método objetivo, seguro, de validez universal, para este propósito. Un método prometedor consiste en la tinción diferencial de la superficie del grano con un reactivo

apropiado que diferencie las células de las capas externas de las profundas.

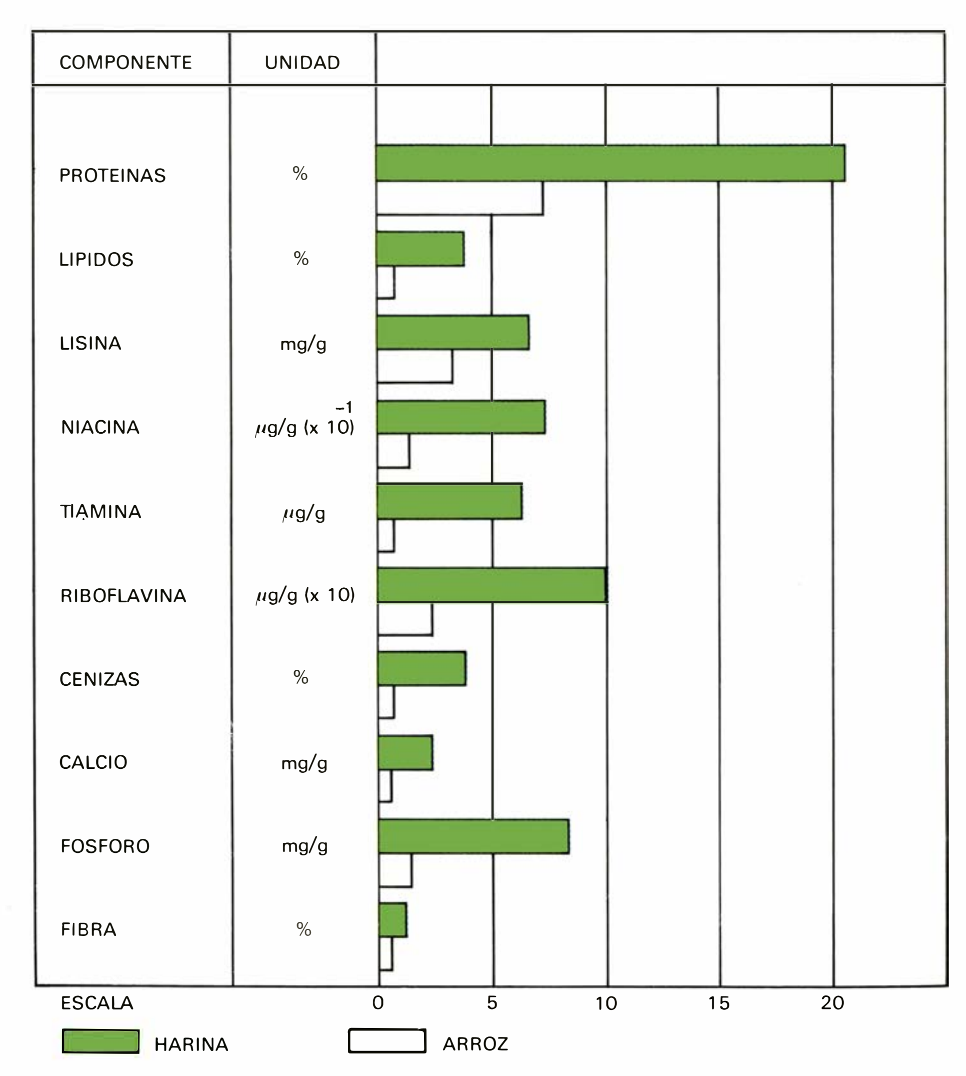
Tras el proceso de elaboración hay otros componentes tecnológicos que afectan al grano a lo largo de su tratamiento. En primer lugar, su almacenamiento. Las pérdidas materiales y de calidad por insectos y hongos durante el almacenamiento y distribución comercial se reducen por el secado artificial, el almacenamiento a granel controlado y las técnicas de higiene industrial con tratamientos pesticidas y preventivos. La fumigación del arroz blanco con bromuro de metilo prolonga la vida de conservación y facilita la distribución comercial.

Sin embargo, las tendencias actuales de la investigación aplicada en el sector incluyen dos líneas interesantes que merecen ser mencionadas: una es la conservación temporal del arroz cáscara húmedo ($\simeq$ 20 por ciento de humedad) con la ayuda de productos químicos, y otra es la conservación del arroz, cáscara o elaborado, de humedad normal, $\simeq$ 13-14 por ciento en atmósferas inertes.

El uso, cada vez más extendido, de las cosechadoras-trilladoras. y la preocupación cada vez mayor por cosechar el grano en su estado óptimo, da lugar a la acumulación de grandes cantidades de arroz de alto contenido de humedad, que sobrepasan la capacidad de las instalaciones de secado disponibles. El almacenamiento temporal del arroz cáscara húmedo, permitiría aplazar a voluntad el secado del grano y ampliar el período del trabajo de las secadoras, con el consiguiente aumento de su rendimiento. Cuando el grano se destinara a tratamientos hidrotérmicos –como el sancochado– se evitaría el secado postcosecha y la humidificación posterior o fase primera del proceso, lo que podría suponer una reducción notable en los costos de fabricación. La conservación del grano húmedo con la ayuda de productos químicos no tóxicos es una técnica lograda. El ácido propiónico y mezclas de los ácidos acético y propiónico han demostrado ser conservadores efectivos. Sin embargo, su aplicación está limitada a granos destinados a la fabricación de piensos. Los datos disponibles para arroz no son satisfactorios. Otra alternativa contempla el empleo de sal. El cloruro sódico, en concentraciones del 2 por ciento, parece haber dado resultados prometedores para la conservación del arroz cáscara húmedo. No obstante, la información actualmente disponible es insuficiente todavía para asegurar la factibilidad tecnológica y económica del procedimiento.

En la conservación del arroz cáscara o elaborado, de humedad normal (13-14 por ciento), se ha visto que el empleo de atmósferas inertes da buenos resultados. Se sabe que, en general, los insectos no sobreviven a concentraciones de oxígeno en el aire intergranular inferiores al 2 por ciento en volumen. Tampoco resisten niveles de CO_2 superiores al 35 por ciento en atmósferas ricas en O_2 (15-21 por ciento). Un proceso desarrollado en Japón, para la conservación duradera del arroz, combina estos principios con la capacidad del grano (cáscara, descascarillado o elaborado) de absorber reversiblemente cantidades elevadas de CO_2 de la atmósfera circundante (a 20° C el arroz elaborado absorbe unos 200 μl/g). En el proceso, el grano, junto con la cantidad apopiada de CO_2, se envasa en paquete de plástico termosoldable de baja permeabilidad, que se cierra herméticamente. El arroz absorbe el CO_2 del aire intergranular, reduciendo el volumen original del paquete, y en unas horas el producto tiene el aspecto de haber sido envasado al vacío, con la protección interior adicional del CO_2.

El área de los arroces modificados y productos de arroz ofrece perspectivas más amplias para la adopción y aplicación de tecnologías innovadoras. Sirven de ejemplo los siguientes productos: arroz sancochado por proceso rápido: conservas y semiconservas de arroz; platos preparados congelados, y



LA HARINA DE LA CAPA EXTERNA se separa del resto del grano por abrasión controlada. Es muy rica en nutrientes. En el gráfico aparecen las concentraciones en que se encuentran algunos de éstos en comparación con los del grano. Se observa, por ejemplo, que dicha capa externa contiene 2,5 veces más proteinas que el arroz originario, 4,5 veces más vitaminas (niacina, tiamina y riboflavina). Los mencionados resultados se han obtenido en las investigaciones realizadas en el Instituto de los autores.

alimentos proteicos a base de arroz para alimentación infantil.

El arroz sancochado es el arroz parcialmente cocido, en cáscara o descascarillado, y secado. Se elabora como el normal en el molino. Contiene mayor cantidad de vitamina B, que pasa del salvado al interior por difusión. Es un producto de excelente calidad de molienda que no da más allá del 1-2 por ciento de medianos en la elaboración. Para el consumidor presenta, sin embargo, algunos inconvenientes. Los más frecuentes son: color amarillento antes de cocinado, tiempo de cocción mayor que el normal y, cuando cocido, sabor característico que recuerda al salvado, y consistencia gomosa; además, es un arroz caro. Aparentemente, estas propiedades han frenado la expansión de su consumo en muchos países y han aconsejado la demora de la puesta en marcha de su fabricación. Una causa adicional importante ha sido la fuerte inversión necesaria para una instalación industrial de capacidad media.

Investigaciones recientes han logrado soluciones que superan estos inconvenientes. Un proceso reduce a 5 minutos las 2-3 horas de los procedimientos convencionales actualmente en uso a escala industrial, y da lugar a un arroz que puede competir ventajosamente con el sancochado tradicional. Como éste, no da más del 1-2 por ciento de medianos en la elaboración, es más blanco, cuece en mucho menos tiempo y una vez cocido es similar al arroz normal, al que supera en calidad.

La tremenda reducción del tiempo de proceso tiene una fuerte repercusión favorable sobre el costo de la inversión.

Las conservas de platos precocinados a base de arroz no han tenido gran difusión comercial. Con frecuencia ha faltado normalización y consistencia de la calidad. Por otra parte, el arroz se ha considerado una materia prima incómoda para el industrial conservero. Las diferencias en las características para el enlatado entre lotes comerciales de la misma o de distinta variedad, han hecho incierto el éxito del proceso. Las condiciones drásticas indispensables para la esterilización han requerido unas características del grano que muchos arroces no poseen. Se ha recurrido al uso de arroz sancochado o se ha desarrollado un tipo especial de arroz, tratado químicamente, capaz de resistir los procesos más severos.

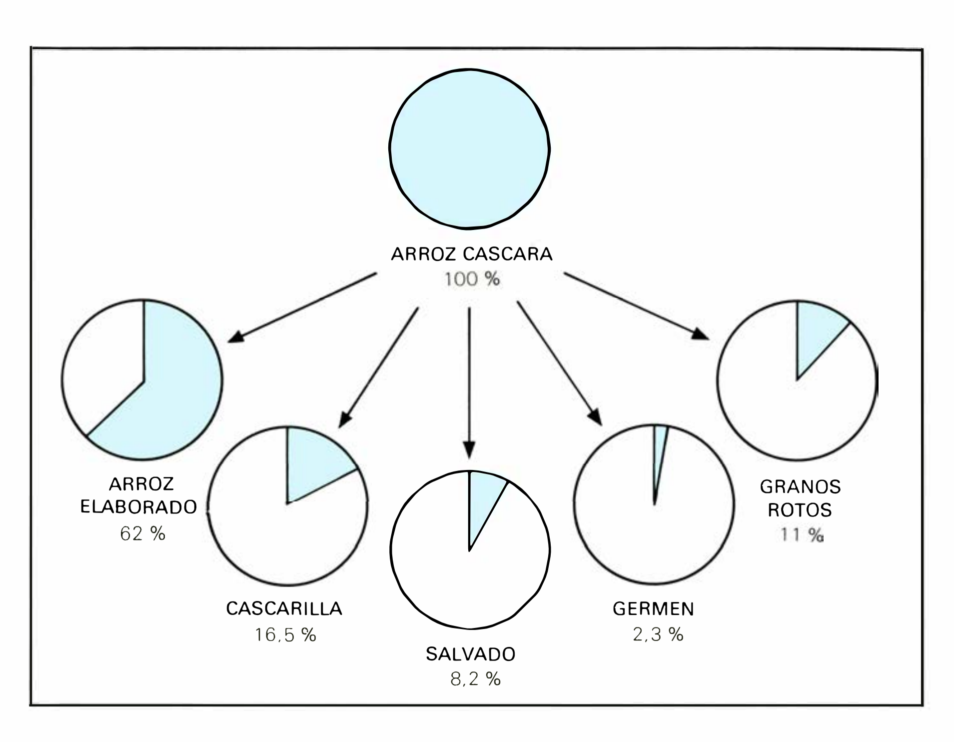
Actualmente, la tecnología tiene resueltos estos problemas. La fabricación de platos preparados enlatados ha dejado de ser una aventura, no se requiere el uso de arroces especiales, y se obtiene un producto de calidad constante y bien determinada. Otro problema que ha desaparecido es el de tener que emplear para la fabricación industrial procedimientos de tipo culinario, con operaciones numerosas, mano de obra excesiva, tiempo prolongado y mucho espacio. Hoy, los ingredientes de cada fórmula –arroz, carne, vegetales, etc.– se preparan en operaciones independientes, y el cocinado del plato se

EL ALMIDON es un polisacárido que constituye la fuente más importante de hidratos de carbono de los vegetales. En el arroz es, además, el componente más abundante. Está formado por amilasa, que son cadenas lineales de moléculas de glucosa dispuestas en hélice (A), y por amilopectina, constituida por cadenas de glucosa ramificadas (B).

realiza ya dentro del bote, simultáneamente a la esterilización. Se siguen procedimientos mecanizados usuales en fábricas de conservas, si bien el progreso de los mismos ya es manifiesto.

El empleo de envases flexibles esterilizables, en lugar del bote de hojalata, se ha difundido en el extranjero. La bolsa que contiene el arroz se protege con un envase de cartón que facilita la manipulación del género y permite una presentación atractiva. El producto es conservable a temperatura ambiente. Entre otras ventajas, permite envasar raciones individuales y preparar el plato para su consumo por simple inmersión de la bolsa de plástico en agua caliente durante un par de minutos.

Los platos congelados constituyen otra alternativa interesante para incrementar la presencia del arroz en el mercado mundial. Hasta ahora su difusión se ha visto frenada por los mismos problemas que antes afectaron a los arroces enlatados. Dado el alto precio de los congelados, la dificultad en obtener, por procedimientos industriales mecanizados, productos de alta calidad y larga duración, ha sido el inconveniente más importante. Actualmente, la tecnología tiene resueltos estos problemas. En su solución, la protección de la integridad del grano para la congelación-descongelación, ha tenido un papel fundamental y exige tratamientos muy precisos.



MOLIENDA DEL ARROZ y distribución del mismo considerando como 100 el valor del grano cosechado. 62 partes constituyen el arroz blanco del comercio, y el resto se va perdiendo en los distintos subproductos: cascarilla, salvado, germen y granos rotos o medianos.

Por último, estudiemos dos puntos interesantes en el aprovechamiento para la nutrición humana de este importante cereal: las harinas, que contienen un alto valor proteico, y el salvado de arroz. Ambos en las capas externas del grano.

Como se vio, la mayoría de los componentes del grano de arroz presentan un gradiente decreciente de concentración, desde las capas externas hasta el interior. En el centro abunda el almidón. La localización de las proteínas importa mucho para la alimentación de la humanidad. Se ha encontrado una zona, por debajo de la capa de aleurona, de concentración proteica varias veces superior a la media del grano: del orden del 20 por ciento en peso. La concentración de vitaminas, minerales y otros nutrientes es muy elevada también en esa zona.

La especial composición de esta capa externa ofrece la posibilidad de obtener, del arroz, un alimento de excelentes propiedades dietéticas. Así, por abrasión controlada del grano, puede extraerse una harina que es un alimento de valor nutritivo varias veces superior al del arroz original. La harina de capa externa contiene cerca de tres veces más proteínas que el arroz elaborado del que se obtiene. Lo cual tiene tanto mayor interés alimentario por cuanto que el valor biológico, disponibilidad y utilización neta de las proteínas del arroz son muy superiores a las de otros cereales comunes. La extracción de harina de la capa externa, en la proporción de sólo un 5 por ciento en peso del arroz blanco elaborado representa 2 millones de toneladas anuales de proteínas, suficientes probablemente para compensar el actual déficit proteico de la población infantil. Considérese que la malnutrición en los niños es uno de los problemas más graves con que se enfrenta la humanidad, origen de taras físicas y psíquicas irreversibles, lo cual compromete seriamente el desarrollo económico y social de toda la población. Las necesidades proteicas de un niño de 3 años se satisfarían con 200 g por día de harina, bastando una suplementación de 650 mg de lisina para cubrir las necesidades en aminoácidos. Con un arroz elaborado ordinario, sancochado o enriquecido, serían necesarios 600 g para cubrir las necesidades. A la imposibilidad física de ingerir dicha cantidad debe sumarse los efectos perjudiciales que se producirían por asimilación de un exceso de hidratos de carbono.

Por lo demás, la extracción de harina de capa externa deja un arroz elaborado de aspecto y propiedades excelentes, más blanco que el arroz original y de más prolongada conservación. Su valor nutritivo es prácticamente igual que el del arroz elaborado normal (la concentración de proteínas baja de 6 a 5,7). Por tanto, la separación de la capa externa no implica problemas serios en una alimentación normal de adultos, permitiendo, sin embargo, distribuir racionalmente las proteínas en sectores más necesitados, como es la población infantil. La harina de capa externa puede utilizarse para substituir, en parte o totalmente, a otras harinas utilizadas actualmente. Por sus características puede utilizarse en la mayoría de formulaciones y alimentos preparados y semipreparados de uso común, y tiene muchas posibilidades para enriquecer en proteínas a otros alimentos pobres.

Algo parecido puede decirse del aprovechamiento del salvado. La elaboración mundial de arroz produce, por año, unos 35 millones de toneladas de salvado, del que apenas se consideran valoraciones positivas por una serie de propiedades adversas.

El salvado tiene de 16 a 19 por ciento de proteínas de alto valor biológico, de 17 a 20 por ciento de grasas (que constituyen un aceite comestible de buena calidad), almidón y azúcares así como una elevada concentración de vitaminas del

grupo B y elementos minerales. Sin embargo, en muchos países, el salvado se vierte como residuo a los ríos y, en otros, se utiliza como pienso para los animales. Y esto sucede, también, en lugares donde la población sufre grave deficiencia proteica en la dieta.

La causa fundamental es que el salvado no puede consumirse como alimento humano, por dos razones. La primera es la presencia de una lipasa muy activa, enzima que hidroliza las grasas en glicerina y ácidos grasos. Estos elevan la acidez del aceite, en las células, si no se extrae muy rápidamente (1 por ciento por hora en la primera fase); luego, los ácidos grasos son oxidados por peroxidasas dando peróxidos y compuestos de sabores rancio y desagradables. Así pues, el salvado es un compuesto muy inestable, cuya vida de almacenamiento es muy corta y ello limita su comercialización y uso. La segunda causa es el alto contenido en fibra (10-14 por ciento) que tiene el salvado, y que lo hace indigerible por el hombre, así como la presencia de cenizas silíceas.

Para hacer del salvado un producto directamente utilizable para la alimentación humana, era necesario resolver dos problemas: *a)* desarrollar un proceso económico de estabilización, que fuera utilizable en los propios molinos arroceros, inmediatamente a la salida de los cilindros pulidores, con una instalación de bajo coste y fácil manejo, dada la distribución geográfica de la producción; *b)* desarrollar un proceso industrial de fraccionamiento, por el cual puedan separarse los componentes valiosos de la fibra y del exceso de cenizas silíceas.

En la primera línea hemos desarrollado un proceso y una máquina que, a boca de molino, transforma el salvado en un producto granulado y estable, mediante la inactivación de los enzimas perjudiciales en condiciones bien definidas. El salvado estabilizado puede almacenarse durante más de un año y transportarse a largas distancias.

Con ello pueden montarse fábricas extractoras de aceite, de tamaño rentable, que utilicen la producción de salvado de molinos situados en zonas extensas. El aceite de salvado de arroz es de sabor fino, color amarillo claro y rico en aceites insaturados, lo que hoy se aprecia por sus propiedades hipocolesterinémicas. La cosecha anual de arroz, en el mundo, proporcionaría de 6 a 7 millones de toneladas de este aceite.

La harina residual puede utilizarse como alimento humano si se somete a un proceso de fraccionamiento (desarrollado también en el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos) mediante su desdoblamiento, por vía húmeda, en tres fracciones de interés comercial: fracción harinosa proteica, apta para la alimentación humana; fracción fibrosa, útil como componente de piensos; y solución acuosa rica en azúcares, proteínas, vitaminas y otros nutrientes.

Las proteínas obtenibles del salvado de arroz podrían constituir la dieta proteica de 300 millones de seres humanos, según las necesidades diarias dadas por la FAO y casi del doble las dietas que actualmente defienden muchos nutrólogos. Utilizadas para completar dietas deficientes actuales podrían resolver la alimentación correcta de más de 1000 millones de personas.

Las proteínas del salvador de arroz, contienen, por cada 100 g, 3,9 g de lisina, 3,1 g de treonina, 1,7 g de triptófano, 3,9 g de cistina más metronina y 3,9 de isoleucina. Respecto a las proteínas de huevo, el aminoácido que limita el valor biológico de las del salvado es la isoleucina, pero éste no constituye problema en la mayor parte de las dietas. Los otros aminoácidos limitantes son la treonina y la lisina y, en ocasiones, el triptófano.

La relación entre aminoácidos esenciales y totales es de 2,7 para el salvado, 2,0 para harina de trigo, 2,8 para la carne y 3,2 para la proteína de huevo.

La eficacia proteica, en la dieta, de las proteínas de salvado, aunque es inferior a la de proteínas animales, es muy superior a la de las harinas de los cereales y se compara favorablemente con las de soja y otras oleaginosas.

La fracción proteica aislada por el proceso descrito es todavía más digerible y, por ello, de mayor rendimiento biológico. Su eficacia proteica es comparable a las de las proteínas de carne y de leche y se aproxima a la de huevo.

El programa de trabajo inmediato debe resolver los detalles técnicos y económicos del proceso y de la instalación, estudiar a fondo las cualidades nutritivas de las fracciones, en amplios ensayos de alimentación, desarrollar productos alimenticios elaborados (harinas, sustitutos de leche, pastas, sustitutos de carne, etc.) que sean agradables y aceptados por el consumidor y en los que se aprovechen, en la forma más económica los valores nutritivos de las fracciones.

Finalmente, el esfuerzo mayor se consumirá en la difusión de la nueva tecnología en los países donde su aplicación es más necesaria.

Juegos matemáticos

Un libro de John Horton Conway que abarca una infinidad de juegos

Martin Gardner

Algunos decían: "John, imprímelo";
otros decían: "No lo hagas".
Algunos decían: "Podría ser beneficioso";
otros decían: "No".

JOHN BUNYAN: *Apology for His Book*

John Horton Conway, el casi legendario matemático de la Universidad de Cambridge, cita las líneas anteriores al final del prólogo de su nuevo libro *On Numbers and Games* (Academic Press). Es difícil imaginar un matemático que dijera "no lo hagas" o que simplemente dijera no. El libro es cosecha de Conway: profundo, innovador, inquietante, original, deslumbrante, ingenioso, acompañado de terribles juegos de palabras al modo de Lewis Carroll. Los matemáticos, desde los especialistas en lógica y teoría de conjuntos hasta el más humilde aficionado, estarán ocupados durante décadas volviendo a descubrir lo que Conway ha omitido u olvidado, explorando a la vez los nuevos y extraños campos abiertos por su trabajo.

La caricatura de Conway, reproducida en la página siguiente, podría titularse "John 'Horned' (Horton) Conway" [juego de palabras: Horned = astado]. Los cuernos entrelazados forman lo que los topólogos llaman una estructura "salvaje"; ésta se denomina concretamente la esfera de Alexander con asas. Sin embargo, siendo topológicamente equivalente a la superficie simplemente conexa de un balón, limita una región que no es simplemente conexa. Una cuerda elástica que rodee la base de un cuerno no puede quitarse de la estructura ni siquiera mediante un número infinito de pasos.

Conway es el inventor de entre otros muchos, del juego llamado Life, que se juega con computadores. Escogiendo cuidadosamente unas pocas reglas simples de transformación, creó una estructura de autómata celular de una variedad y profundidad extraordinarias. Ahora lo ha hecho de nuevo. Recurriendo a la más simple de las distinciones posibles –una división binaria entre dos conjuntos– y añadiendo algunas reglas, definiciones y convenios sencillos, ha construido un rico campo de números y una estructura igualmente rica de juegos para dos personas.

La historia de cómo se van creando los números de Conway en sucesivos "días", empezando por el día cero, se explica en la novela de Donald E. Knuth: *Surreal Numbers*, Addison-Wesley, 1974. No haré ahora más que indicar a los lectores que la construcción de los números se basa en la siguiente regla: Si se da un conjunto L a la izquierda y un conjunto R a la derecha y no hay ningún elemento de L mayor o igual que algún elemento de R entonces existe un número $\{L|R\}$ entre medio, que es el "número más simple" (en el sentido que Conway lo define).

Empezando teóricamente con nada (conjunto vacío) a la derecha y nada a la izquierda, $\{\,|\,\}$, se obtiene la definición de cero. El resto se obtiene, mediante la técnica de volver a colocar los números que se van construyendo en el sistema de derecha e izquierda. La expresión $\{0|0\}$ no es un número, pero $\{0|\,\}$ con el conjunto nulo a la derecha, define el 1; $\{\,|0\}$ define el -1 y así sucesivamente.

Procediendo inductivamente, Conway es capaz de definir todos los enteros, todas las fracciones enteras, todos los irracionales, todos los números transfinitos de Georg Cantor, un conjunto de infinitésimos (que son los recíprocos de los números de Cantor, no los infinitésimos del análisis no-standard) e infinitas clases de extraños números nunca vistos anteriormente por el hombre, tales como

$$\sqrt[3]{(\omega+1)}-\frac{\pi}{\omega}$$

donde ω es omega, el primer ordinal infinito de Cantor.

Los juegos de Conway se construyen de una manera parecida, pero más general. La regla fundamental es: Si L y R son dos conjuntos de juegos cualesquiera, existe un juego $\{L|R\}$. Algunos juegos corresponden a números y otros no, pero todos ellos (al igual que los números) no están basados en nada. "Recordamos de nuevo al lector", escribe Conway, "que, puesto que a la larga nos limitamos a preguntar sobre los elementos del conjunto vacío, ninguna de nuestras inducciones requiere base alguna".

En un "juego" que siga el sistema de Conway hay dos jugadores, la Derecha y la Izquierda, que mueven alternativamente. (Derecha e Izquierda designan jugadores tales como Negro y Blanco, o Arturo y Berta, y no quién mueve en primer y segundo lugar). Cada juego empieza con una primera posición o estado. En este estado y en cada uno de los siguientes, hay un jugador que tiene una elección de "opciones" o movimientos. Cada elección determina plenamente el estado siguiente. En la forma standard de jugar, la primera persona incapaz de hacer un movimiento lícito, pierde. Este es un convenio razonable, escribe Conway, porque "ya que normalmente nos consideramos perdidos cuando no podemos encontrar un buen movimiento, es claro que debemos perder cuando no podamos encontrar ninguno." En un juego "nulo", que es normalmente mucho más difícil de analizar, la persona que no puede mover es el ganador. De cada juego puede hacerse un diagrama en forma de árbol, cuyas ramas significan cada una de las opciones del jugador en cada estado sucesivo. En los árboles de Conway, las opciones de la Izquierda van hacia arriba y hacia la izquierda y las de la Derecha van hacia arriba y hacia la derecha.

Puede darse el caso de un juego "imparcial", como sucede en el Nim, lo que quiere decir que el jugador al que le toca actuar puede hacer cualquier movimiento lícito. Si el juego no es imparcial, como en el ajedrez (donde cada jugador debe mover tan sólo sus propias piezas), Conway le llama un juego partidista. De esta manera, su red engloba no sólo una enorme variedad de juegos familiares, del Nim al ajedrez, sino también una infinidad de juegos nunca ima-

ginados anteriormente. Aunque su teoría puede aplicarse a juegos con una infinidad de estados y/o con una infinidad de opciones, a él le interesan principalmente los juegos que terminan después de un número finito de movimientos. "La Izquierda y la Derecha", explica, "son ambas personas ocupadas, que tienen grandes posibilidades políticas".

Conway ilustra los niveles más bajos de su teoría mediante situaciones tomadas de un juego partidista llamado Crosscram. El tablero es rectangular, de medida y formas arbitrarias, con escaques. Los jugadores colocan alternativamente una ficha que cubre dos cuadrados adyacentes, pero la izquierda debe colocar sus piezas en sentido vertical y la Derecha debe colocar las suyas en el horizontal. El primer jugador que no es capaz de mover pierde.

Un cuadrado vacío, aislado, no permite mover a ninguno de los jugadores. "No está permitido ningún movimiento" corresponde al conjunto vacío; así pues, usando la notación de Conway, al más sencillo de todos los juegos se le asigna el valor $\{\,|\,\}=0$, que es el más sencillo de todos los números. Conway le llama Endgame. Su diagrama en árbol, que se muestra a la derecha del cuadrado, consta solamente de un nudo sin ramas. Puesto que ninguna parte puede mover, el segundo jugador es el que gana, sin tener en cuenta si es la Izquierda o la Derecha. "Cortésmente le ofrezco el primer movimiento de este juego", escribe Conway. Como usted no puede mover, él gana.

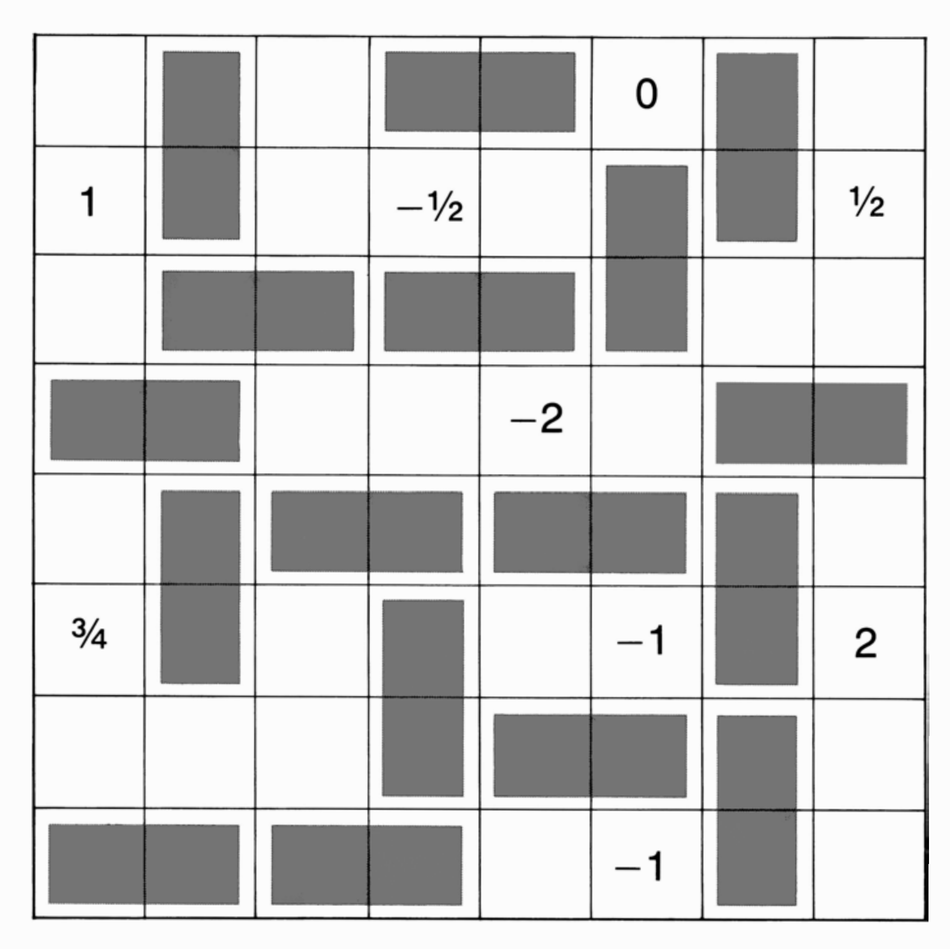
Una tira vertical de dos (o tres) células, no ofrece ningún movimiento a la Derecha pero permite un movimiento a la Izquierda. El movimiento de la Izquierda lleva a una posición de valor 0, por lo que el valor de esta región es $\{0|\,\}=1$. Es el más sencillo de todos los juegos positivos y corresponde al número positivo más sencillo. Los juegos positivos son triunfos para la Izquierda con independencia de quién empiece. El diagrama en árbol correspondiente se muestra arriba a la derecha.



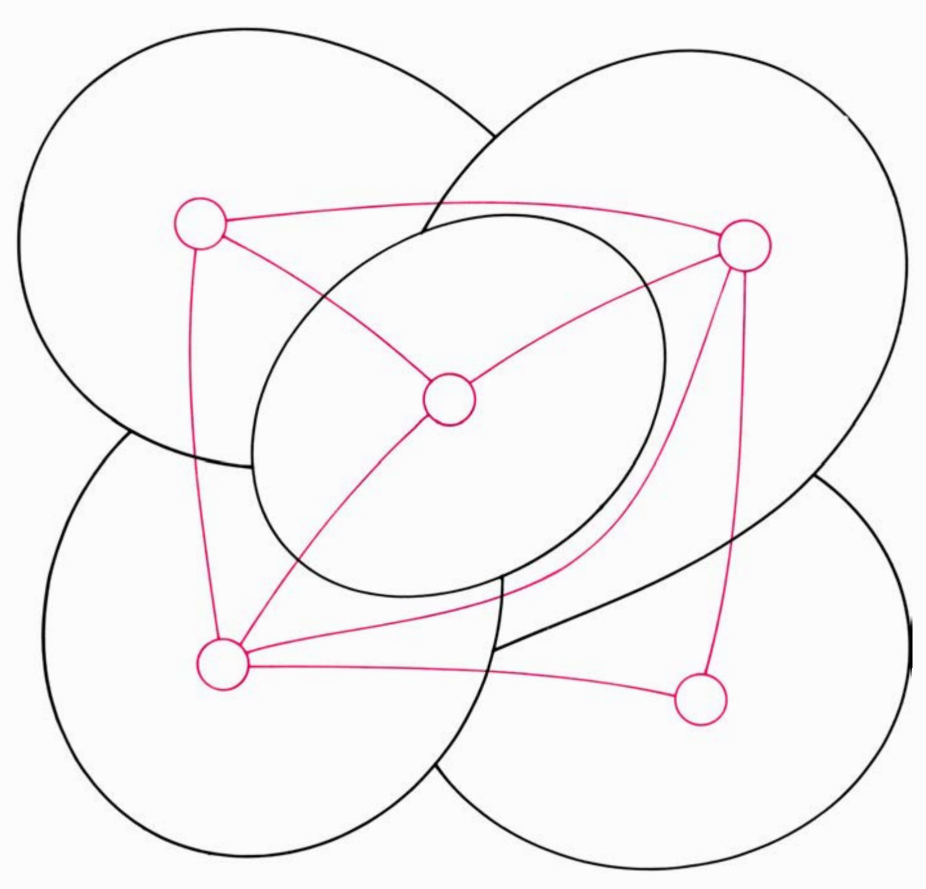


Una tira horizontal de dos (o tres) células permite un movimiento de la Dere-

Caricatura de John "Horned" (Horton) Conway hecha sobre papel de imprimir de computadora



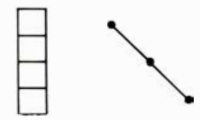
Posición del Crosscram que dará el triunfo a la Derecha



Un mapa de cinco regiones, con su grafo dual (en color), *para jugar Col o Snort*

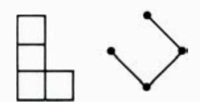
cha pero ninguno de la Izquierda. El valor de la región es $\{\,|0\} = -1$. Es el más sencillo de todos los juegos negativos y corresponde al número negativo más sencillo. Los juegos negativos son triunfos para la Derecha con independencia de quién haya empezado.

Una tira vertical de cuatro (o cinco)

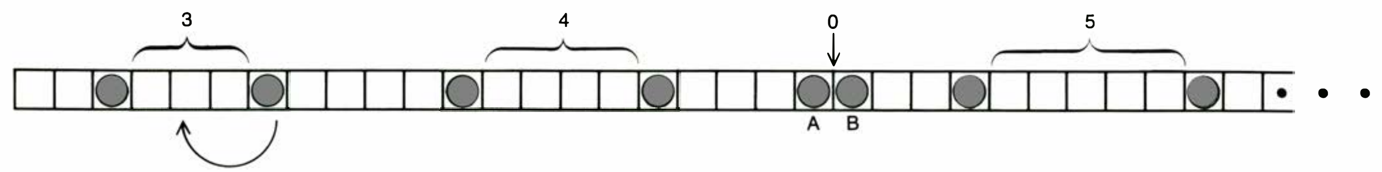


células tiene el valor 2. La Derecha no tiene movimientos. La Izquierda puede, si quiere, tomar las dos células del medio para dejar la posición cero, pero su "mejor" movimiento es tomar dos células finales porque esto le deja un movimiento adicional. Si esta región constituye el tablero entero, naturalmente gana con cualquiera de ambas jugadas, pero si se trata de una región aislada en un tablero más grande o en uno de los muchos tableros de un "juego compuesto", podría ser importante hacer el movimiento que maximizara el número de movimientos adicionales dejados al jugador. Por esta razón, el árbol solamente muestra la mejor línea de juego de la Izquierda. El valor del juego es $\{1,0|\,\} = \{1|\,\} = 2$. Una tira horizontal de cuatro células tiene un valor de -2. Si sólo hay un jugador que pueda moverse en una región y si puede ajustar en ella n de sus fichas, pero no más, es claro que la región tiene el valor $+n$, si el jugador es la Izquierda, y $-n$ si el jugador es la Derecha.

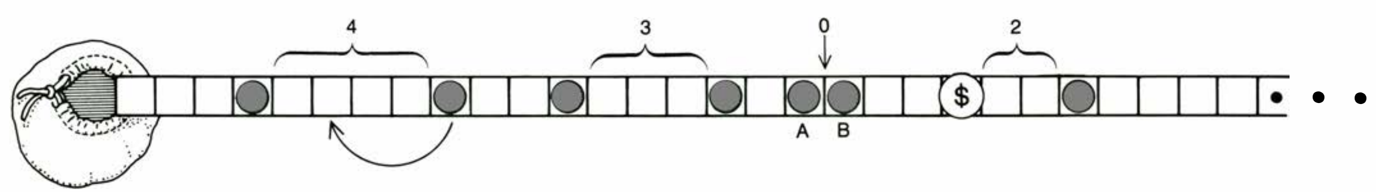
Las cosas se ponen más interesantes si ambos jugadores pueden moverse en una región, ya que entonces un jugador puede tener maneras de bloquear a su oponente. Consideremos la región siguiente:



La Izquierda puede colocar una ficha que bloquee cualquier movimiento de la Derecha, dejándola así en posición cero y ganadora. La Derecha no puede bloquear a la Izquierda, ya que el único movimiento de la Derecha deja una posición de valor 1. En la notación de Conway, el valor de esta posición es $\{0,-1|1\} = \{0|1\}$, expresión que define 1/2. Así pues, esta posición cuenta como la mitad de un movimiento en favor de la Izquierda. Girando la región L sobre su lado se llega a la posición $\{-1|0,1\} = \{-1|0\} = -1/2$, es decir, la mitad de un movimiento en favor de la Derecha.

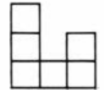


El juego de las monedas sin el dólar de plata



El mismo juego con el dólar

En la teoría de Conway surgen también fracciones más complicadas. Por ejemplo:



tiene el valor de $\{1/2|1\} = 3/4$ de un movimiento en favor de la Izquierda, ya que 3/4 es el número más sencillo entre 1/2 y 1, que son los valores de las mejores opciones para la Izquierda y la Derecha. En un juego partidista llamado Hackenbush, Conway da un ejemplo de una posición en la que la Izquierda está exactamente 5/64 de movimiento por delante de la Derecha.

Los valores de algunas posiciones del juego no son números. El ejemplo más sencillo viene ilustrado en el Crosscram por la siguiente región:



Tanto la Izquierda como la Derecha disponen únicamente del movimiento de apertura; así pues, la primera persona que juega gana, con independencia de quién sea. Puesto que cada jugador puede reducir el valor a cero, el valor de la posición es $\{0|0\}$, que no es un número, y que Conway simboliza con * , llamándolo "estrella". Otro ejemplo sería un montón del Nim que contuviese una única ficha. Es el juego "difuso" más sencillo. Los valores difusos corresponden a posiciones en las que cada jugador puede ganar si mueve primero él.

El valor de un juego compuesto es simplemente la suma de los valores de sus juegos componentes. Esta afirmación se aplica también al valor de una posición en un juego en marcha, que haya quedado dividido en un conjunto de subjuegos como consecuencia del juego mismo. Por ejemplo, la ilustración de arriba a la derecha muestra una posición en un juego de Crosscram jugado sobre un tablero de ajedrez normal. Están indicados los valores de las regiones aisladas. La posición parece ser de equilibrio, pero las regiones tienen una suma de $-1/4$, lo cual significa que la Derecha está un cuarto de movimiento por delante y que puede ganar independientemente de quién sea el siguiente en mover. Podría ser aburrido decidir este resultado por medio del dibujo de un árbol completo, pero la teoría de Conway nos da la solución rápida y automáticamente.

Un juego no se considera "resuelto" hasta que se conoce su resultado (suponiendo que ambos jugadores realizan sus mejores movimientos), es decir, hasta que no se sabe si el valor del juego es cero, positivo, negativo o difuso, y hasta que el jugador que tiene el triunfo encuentra la estrategia del éxito. Esta condición se aplica solamente a los juegos que deben tener un final, pero tales juegos podrían ofrecer infinitas opciones, como sucede con el juego que Conway llama "Mi padre tiene más dinero que el tuyo". Los jugadores asignan alternativamente una cantidad de dinero por sólo dos movimientos y gana la suma más alta. Aunque el árbol es complicado, según admite el mismo Conway, resulta claro que gana el segundo jugador.

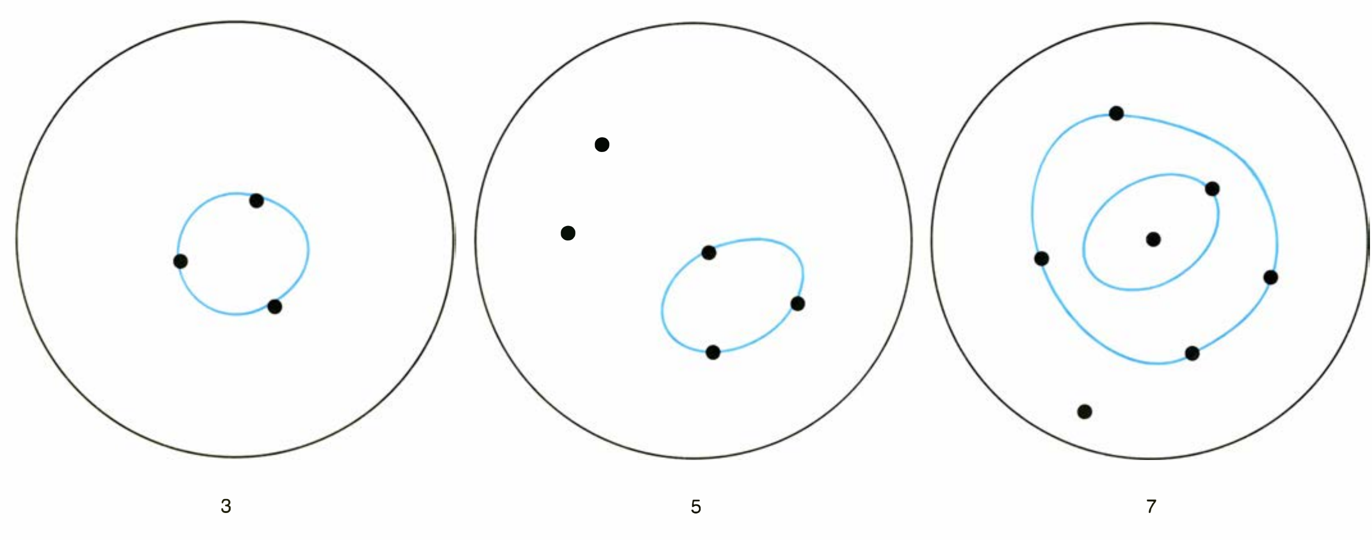
¿No se trata de comienzos triviales? Sí, lo son, pero proporcionan un fundamento seguro sobre el cual Conway, adaptando nuevos juegos a su esquema Izquierda-Derecha, construye cuidadosamente un vasto y fantástico edificio. No vamos a tratar más de ello, sino a describir algunos juegos poco usuales que Conway analiza bajo la luz de su teoría. En todos ellos supondremos que se trata de juegos standard, en los que la primera persona que no puede mover pierde.

1. Col (llamado así por su inventor, Colin Vout). Se dibuja un mapa sobre papel de embalar. *L* utiliza el color negro y *R* el color blanco. Ambos colorean alternativamente una región del mapa, con la condición de que regiones que compartan un segmento de frontera no sean del mismo color. Es útil considerar a todas las regiones que limitan una región blanca como si estuvieran pintadas de blanco y todas las regiones que limitan una negra como pintadas de negro. Una región que tuviese que tomar ambos colores se separa del mapa como si se tratara de una región no pintable.

Conway analiza el Col en el grafo dual del mapa *(véase la ilustración de abajo en la página anterior),* definiendo lo que él llama "nudos explosivos" y señalándolos con trazos. Claro está que el juego puede desarrollarse sobre papel blanco con lápices de dos colores cualesquiera. Vout ha dado a conocer que en el conjunto de todos los mapas conexos, topológicamente inconfundibles, y compuestos entre una y cinco regiones, en nueve casos gana el primer jugador y en veintiuno el segundo. El juego no está resuelto en términos generales.

2. Snort (en memoria de Simon Norton). Es un juego igual que el Col, salvo que las regiones vecinas deben ser del mismo color. Tampoco está resuelto. Conwoy sospecha que posee una teoría más rica que el Col. Su consejo más valioso sobre este juego es: si tiene ocasión de colorear una región adyacente a cada una de las regiones del color de su adversario, hágalo. Además, Conway ha descubierto algunos teoremas básicos, que da a conocer bajo el título: "A Short Snort Dictionary".

3. Juego del dólar de plata sin el dólar. El tablero es una tira horizontal de célu-



Una posición del Rims

las que puede alcanzar por la derecha cualquier longitud *(véase la primera de las ilustraciones de arriba).* Se colocan monedas arbitrariamente sobre algunas de las células, una en cada célula, y esto da la posición inicial. Cada jugada consiste en mover una moneda hacia la izquierda a cualquier célula vacía, pero sin que pueda saltarse por encima de otra moneda. Finalmente, todas las monedas quedan acumuladas a la izquierda y la persona que no puede mover pierde.

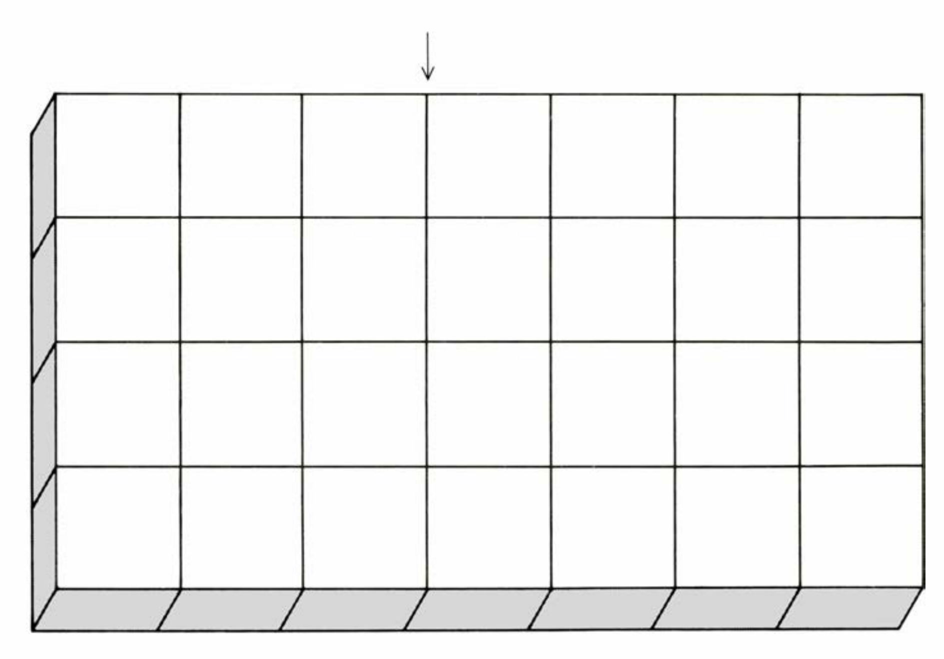
El juego es un simple Nim en una de sus infinitas adaptaciones. (Supongo que el lector está familiarizado con el Nim y conoce cómo determinar la estrategia que permite ganar; si no es así, puede consultar varios libros, incluyendo el nuevo libro de Conway o mi *Scientific American Book of Mathematical Puzzles & Diversions*, trad. cast. *Nuevos pasatiempos matemáticos,* Alianza Editorial, Madrid). Las células vacantes entre monedas corresponde a los montones (o filas) de fichas del Nim, empezando por la célula vacante del extremo de la derecha, incluyendo solamente vacantes alternadas. En la ilustración, los montones del Nim están indicados mediante llaves y una flecha. Los montones son 3, 4, 0 y 5, es decir, el juego es equivalente a jugar Nim con filas de 3,4 y 5 fichas.

Para jugar racionalmente hay que hacer exactamente como en el Nim: mover de tal modo que la suma Nim de los montones se reduzca a 0; se trata de un juego en el que la ventaja es del segundo jugador. La única diferencia está en que aquí el montón puede aumentar en tamaño. Sin embargo, si usted tuviese el triunfo y su oponente hiciese tal movimiento, bastaría con volver el montón a su anterior tamaño moviendo la moneda que está precisamente a la derecha del montón.

Si estando en la posición ilustrada, le toca a usted mover, ganará si hace el movimiento indicado por la flecha curvada. Si su oponente responde moviendo la ficha A dos células a la izquierda, el movimiento eleva el montón vacío a dos. Usted debe responder moviendo B dos células a la izquierda, devolviendo así el montón a cero.

4. Juego del dólar de plata con el dólar. Este juego es igual que el precedente exceptuando que una de las monedas (una cualquiera) es un dólar de plata y la célula del extremo izquierdo es una bolsa o monedero *(véase la segunda ilustración, arriba, en la página anterior).* La moneda situada más a la izquierda puede meterse dentro de la bolsa. El juego termina cuando el dólar entra en la bolsa, y el jugador siguiente gana y la toma.

Este juego es también Nim disfrazado. Considere que la bolsa está vacía si la moneda a su derecha es una moneda normal y que está llena si es el dólar, y juegue Nim como antes. Si usted obtiene el triunfo, su oponente se verá forzado a colocar el dólar en la bolsa. Si se acordase que el ganador será el jugador que coloque el dólar en la bolsa, considere que la bolsa está llena si la moneda que está a su derecha es la moneda que está


Un formato para Cutcake. El primer movimiento consiste en romperlo verticalmente por la flecha

a la izquierda del dólar y considérela vacía en los demás casos. La posición mostrada corresponde a un juego de Nim con montones de 4, 3, 0 y 2. El primer jugador gana en ambas versiones sólo con hacer el movimiento indicado por la flecha curvada.

5. Rims. Es otra variante del Nim, cuya posición inicial está formada por dos o más grupos de puntos. Una jugada consiste en dibujar una simple línea cerrada alrededor de cualquier número positivo de puntos de un grupo. La línea no debe cruzarse a sí misma ni cruzar o tocar ninguna otra línea. En la ilustración superior de la página anterior se muestra una partida.

Conway muestra que el Rims es lo mismo que el Nim, con la regla adicional de que se permite, si se quiere, tomar del centro de la fila, dejando dos nuevas filas en lugar de una o más filas. Aunque el número de montones puede aumentar, la estrategia para ganar es la usual del Nim. Si cada línea cerrada se limita a uno o dos puntos, el juego equivale al conocido juego de Kayles (véase el capítulo 16 de mi *Mathematical Carnival*). Conway lo llama Rayles.

6. Prim y Dim. Permítanme presentar estos juegos explicando el Nim-Primo, un juego más sencillo, no discutido por Conway. Fue analizado por primera vez hace unos 20 años por Claude E. Shannon. El Nim-Primo se juega de la misma manera que el Nim con la excepción de que los jugadores deben disminuir los montones solamente por números primos, incluyendo el 1 como primo. "El juego es, de hecho, un truco matemático", escribió Shannon (en una comunicación privada), "aunque a primera vista parece implicar profundas propiedades aditivas de los números primos. La única propiedad que se pone en juego es la de que todos los múltiplos del primer número no primo son no primos".

El primer número no primo es el 4. La estrategia consiste simplemente en considerar cada montón como si fuera igual al que quedaría cuando su número fuera dividido por 4 y entonces jugar Nim standard con estos números módulo 4. Si no se cuenta el 1 como primo, la estrategia es menos simple en el juego standard y es tan complicada en el juego nulo que no creo que haya sido resuelta nunca.

El Prim, sugerido por Allan Tritter, exige que los jugadores tomen de cada montón un número primo con el número del montón. En otras palabras, los dos números no deben ser iguales ni tener otro divisor común distinto del 1. El Dim exige que cada jugador quite un divisor de n (incluyendo 1 y n como divisores) del montón de talla n. Conway da soluciones para ambos juegos, así como variantes en las que en el caso del Prim, se permite tomar 1 de un montón de 1 y, en el Dim, no se permite tomar n de un montón de n.

7. Cutcake (cortar el pastel). Es un nuevo juego partidista inventado por Conway. Se juega con un conjunto de pasteles rectangulares, dividido cada uno en cuadrados unidad. El movimiento de la Izquierda consiste en romper un trozo de pastel en dos partes a lo largo de una de sus líneas horizontales. El movimiento de la Derecha consiste en romper un trozo a lo largo de una línea vertical. El juego tiene una sorprendente y sencilla teoría.

La ilustración inferior de la pág. 172 muestra un pastel de 4 × 7. En la notación de Conway su valor es 0, lo que quiere decir que gana el segundo jugador con independencia de quien empiece. Parece como si el que rompe el pastel verticalmente hubiera de tener la ventaja, ya que dispone del doble de movimientos posibles de apertura que su oponente; pero no la tiene si actúa el primero. Suponiendo que el que rompe verticalmente fuera el primero y rompiera el pastel a lo largo de la línea que indica la flecha, ¿cuál es la respuesta que permite ganar al segundo jugador?

He dado tan sólo unos pocos ejemplos de la exótica nomenclatura de Conway. Los juegos pueden ser cortos, insignificantes, aburridos, inquietantes, desveladores, sublimes, extravertidos e introvertidos. Hay subidas, bajadas, estrellas remotas, semiestrellas y superestrellas. Hay pesos atómicos y conjuntos con nombres tales como On, No, Ug y Oz. Conway tiene una teoría de la temperatura, como termógrafos en los que las posiciones calientes son enfriadas echándoles agua fría. Tiene un principio de Mach para el microcosmos: el peso atómico de un juego corto e insignificante es al menos 1 si y sólo si el juego sobrepasa las estrellas remotas.

El teorema 99 de Conway da una idea del talante caprichoso del libro. Nos dice (parafraseo, para evitar un pequeño error, que Conway descubrió demasiado tarde para corregirlo) que cualquier juego corto insignificante de peso atómico cero está dominado por alguna superestrella. Sólo un sentimiento de incompletitud, añade Conway, le llevó a dar un teorema final, el teorema 100: "este es el último teorema de este libro".

Taller y laboratorio

Cómo cultivar bacterias inocuas y ensayar antibióticos contra ellas

Una serie de experiencias sencillas pueden demostrar cómo algunas bacterias se afectan por agentes bacteriostáticos, entre ellos, algunos fármacos que retardan el crecimiento de bacterias previamente seleccionadas. Para controlar estas sustancias, las bacterias deben cultivarse en un medio apropiado que facilite su crecimiento, exponerlas a la acción del bacteriostático y medir los resultados obtenidos. Las bacterias, como otros seres vivos, tienen preferencias respecto a sus alimentos, temperatura y humedad. De hecho, no se ha conseguido un medio de cultivo universal que permita el mismo desarrollo para todas las bacterias. Los medios se preparan de acuerdo con las exigencias nutritivas de las bacterias estudiadas. Sin embargo, el caldo de carne, convenientemente tratado y refinado, es un medio apto para el desarrollo de millares de microorganismos bacterianos. Además, puede utilizarse como medio sólido añadiendo la proporción adecuada de agar (15 g/litro)

Un aspecto esencial para realizar con acierto estas experiencias consiste en la eliminación de microorganismos intrusos. En este sentido, sólo interesa controlar las características de una especie bacteriana. La contaminación por otros microorganismos se evitará mediante la esterilización del medio de cultivo y utillaje empleado, manteniendo de un modo irreprochable durante la experimentación las condiciones de asepsia.

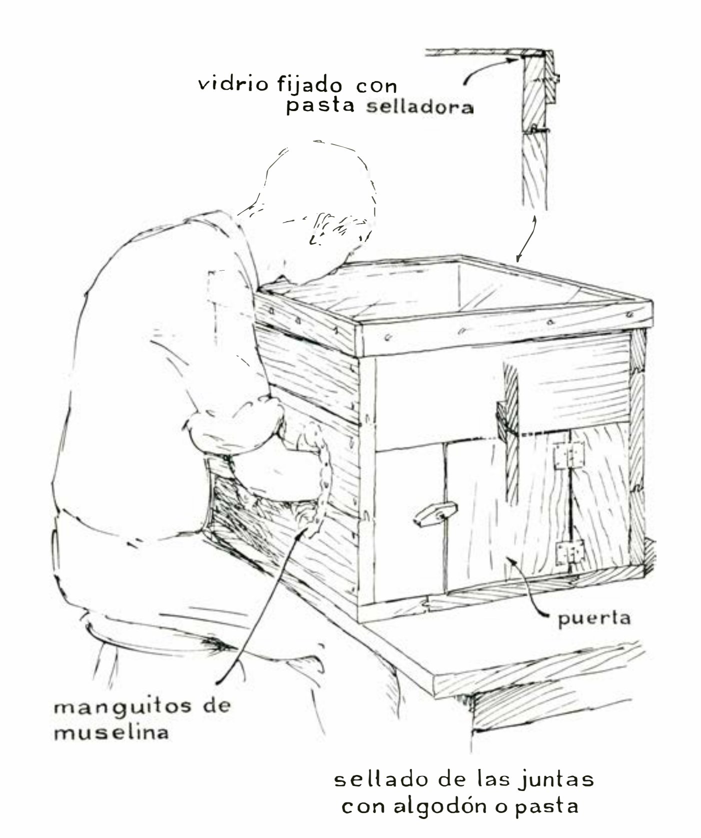
Preparación de la experiencia

Estas condiciones podrán mantenerse si el interesado está provisto de una cámara de siembras estéril, en la que se verifiquen todas las operaciones esenciales de la experiencia. Esta cámara o vitrina de siembras puede construirse con un cajón de madera que tenga 60 cm de altura, 60 cm de anchura y un metro de longitud. Como se muestra en la figura inferior de esta misma página, está provista de una cubierta de vidrio, una pequeña puerta y un par de orificios practicados en el lado mayor, adecuados para introducir manos y antebrazos. Las grietas deben eliminarse con algodón o materiales selladores. Para mayor seguridad, alrededor de los orificios pueden colocarse un par de manguitos, que evitarán en buena parte la penetración del aire desde el exterior. El interior de la cámara contendrá, entre otros objetos, un mechero de alcohol y un pequeño atomizador conteniendo una solución esterilizante tipo Lysol o Armil.

El material de vidrio imprescindible constará de unas dos docenas de placas de Petri completas, con las dimensiones convencionales para trabajos de microbiología, de 10 cm de diámetro. El experimentador necesitará asimismo tres matraces Erlenmeyer de un litro de capacidad y seis de 250 ml, una docena de tubos de ensayo de 20 ml de capacidad y la correspondiente gradilla para su colocación, una docena de pipetas graduadas de 1 ml y una perilla de goma apta para su llenado, un rotulador para vidrio, pinzas, varilla de vidrio y un asa de siembra para bacteriología construida por alambre de ferroníquel o platino de unos 5 cm de longitud, convenientemente fijada a un mango que aísle al manipulador del calor que emite el asa al ponerse al rojo en el momento de esterilizarse en los trasiegos de bacterias. Este utillaje debe situarse en una zona próxima a la vitrina o cajón de siembras.

Todos los materiales serán esterilizados. Las placas de Petri y las pipetas se envuelven cuidadosamente, en lotes de seis, en papel poco satinado tipo kraft. Los tapones de los tubos de ensayo y matraces Erlenmeyer se confeccionan con algodón hidrófilo. Los tubos de ensayo pueden envolverse por docenas en papel. Este material de vidrio se puede esterilizar a calor seco, colocándolo en una estufa a 100º C durante dos horas. Ningún envoltorio debe abrirse hasta el momento de la experiencia.

Respecto a los medios de cultivo, pueden adquirirse deshidratados, a través de establecimientos especializados, de las



Modelo de cámara de siembras estéril cuya construcción es, además, relativamente sencilla.

marcas más acreditadas, como BBL, Difco, Merck y Oxoid. Sin embargo, uno de los objetivos principales de la experiencia lo constituye el propio aprendizaje del experimentador en las técnicas básicas del cultivo de bacterias, entre ellas, la preparación del medio de cultivo.

Un procedimiento sencillo para la obtención de caldo de carne consiste en tomar una muestra de unos 400 g de carne troceada, tipo hamburguesa y mezclarla con un litro de agua destilada. Se agita durante unos minutos y se mantiene en el refrigerador a una temperatura de 4° C aproximadamente, durante 10 horas. Posteriormente se retira la capa de grasa sobrenadante y se filtra el líquido residual a través de una gasa estéril con varios dobleces. Se ajusta el volumen hasta un litro con agua destilada y se añaden 5 g de peptona y 5 g de sal común, agitando hasta su disolución. Se separan 50 ml del caldo para un segundo matraz. Finalmente añadir 15 g de agar a los 950 ml restantes.

Las bacterias, como otros microorganismos, son sensibles al equilibrio ácido-base del medio en el que se desarrollan. Las bacterias adecuadas para la experiencia crecen en medios neutros. Sin embargo, los dos medios preparados tendrán una ligera acidez. Para conseguir su neutralidad, debe añadirse la cantidad suficiente de una solución de hidróxido sódico, que se prepara con 10 g de este producto en un litro de agua destilada. Con la ayuda de un papel indicador de pH, se ajustarán los medios a pH neutro, añadiendo una o dos gotas de la solución de sosa.

Los matraces con los medios se calientan a 100° C durante media hora. Con esta temperatura precipitarán las proteínas del medio. El precipitado se separa por filtración del medio caliente a través de papel de filtro tipo jarabe. El medio transparente se lleva de nuevo a su volumen inicial por adición de la cantidad suficiente de agua destilada.

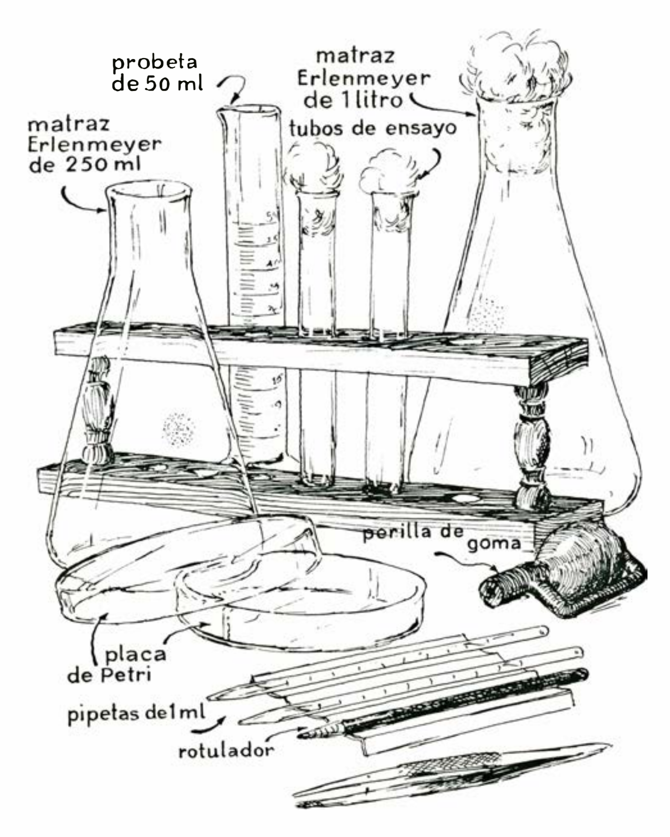
El medio que contiene el agar fundido se reparte, distribuyendo 100 ml del mismo en seis matraces Erlenmeyer que se cubren con tapones de algodón. Por otra parte, el caldo de carne se distribuye en los tubos de ensayo, a razón de 5 ml de medio por tubo. Estos tubos se taparán igualmente con algodón.

Para conseguir la esterilización de los medios, los matraces se colocarán en baño-maría durante media hora, tres días consecutivos (agua hirviendo). Otra alternativa consiste en realizar la esterilización con la ayuda de una olla a presión doméstica. La olla, con 4 cm de agua y el material que se desea esterilizar en su interior, se somete a un proceso de vaporización de 20 minutos de duración. El enfriamiento debe verificarse con lentitud. La aceleración del mismo con agua fría causará un descenso súbito de la presión interior, provocando la ebullición de los medios contenidos en los matraces y consiguiente proyección de los tapones.

Para estas experiencias deben utilizarse obviamente bacterias no patógenas. Cepas de *Staphylococcus epidermidis, Enterobacter aerogenes* o *Alcaligenes faecalis* constituyen algunos ejemplos. Pueden adquirirse a través del centro universitario más próximo dotado de un departamento de microbiología o solicitándolas a un costo relativamente bajo, a centros internacionales especializados, como American Type Culture Collection, 2112 M Street, Washington 6, D.C. Es lógico que el interesado en este campo dude sobre la necesidad de adquirir las cepas bacterianas precisas a través de los centros indicados cuando es un hecho conocido que las bacterias abundan en la atmósfera. Su crecimiento puede conseguirse por simple exposición al aire de una placa de Petri con medio sólido, abierta, incubándola luego durante 24 horas. Sin embargo, es interesante señalar que este procedimiento carece de sentido y puede ser peligroso. Carece de sentido porque el principiante no dispone de sistemas de identificación para los microorganismos que aísle. Es peligroso porque existe la posibilidad de cultivar microorganismos patógenos. Las cepas bacterianas recomendadas son inofensivas y tienen la ventaja de su disponibilidad. Por otra parte, al utilizar cepas conocidas se pueden comparar resultados. Estas bacterias se pueden mantener indefinidamente en caldo de carne, por resiembra diaria de una gota de cultivo viejo hasta un tubo con caldo fresco estéril. Si el cultivo se mantiene a 4° C la resiembra puede verificarse semanalmente.

Experiencia de bacteriostasis

Para llevar a cabo la experiencia de bacteriostasis, se introducen en la vitrina de siembras un tubo de medio frasco y estéril, un tubo con la cepa desarrollada durante 24 horas y el asa de siembra. La vitrina se esteriliza con el aerosol germicida, dejando sedimentar las microgotas del aerosol durante cinco minutos. Se enciende el mechero de alcohol y se calienta al rojo el asa de siembra. Los tu-



Utillaje, básico, de acuerdo con las exigencias, para efectuar los experimentos bacteriológicos.

bos se mantienen en la mano izquierda y el asa estéril en la derecha, como indica la figura de la derecha. Se retiran los tapones de los tubos manteniéndoles entre los dedos como señala la misma figura. Se flamean cuidadosamente los bordes de los tubos. El asa de siembra se sumerge durante un segundo en el tubo que contiene el crecimiento de la cepa bacteriana y se transfiere al medio estéril contenido en el segundo tubo por simple inmersión. Se colocan los dos tapones y el asa se esteriliza de nuevo al rojo. Para evitar contaminaciones y adquirir práctica, es conveniente ensayar estas operaciones varias veces con tubos vacíos.

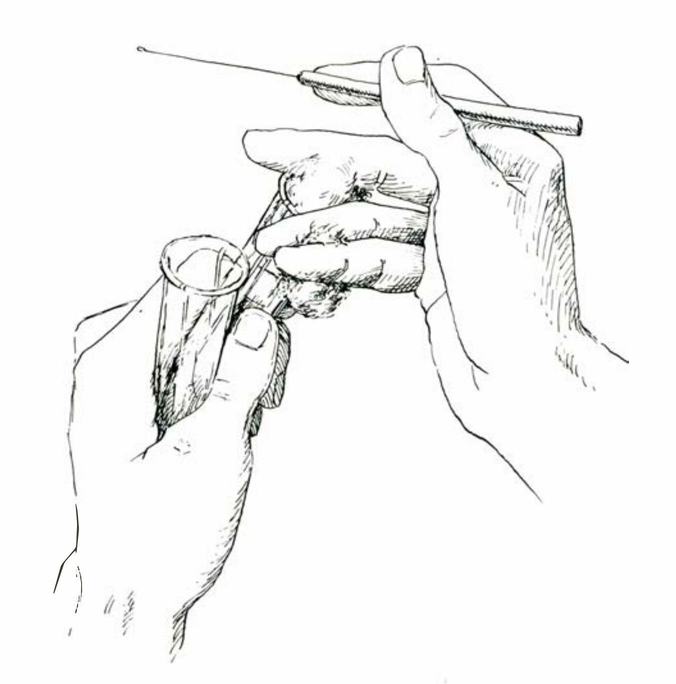
El tubo recién sembrado se incuba durante dos horas a temperatura ambiente y luego se somete a 4° C. Al cabo de 24 horas, el tubo se agita frente a una luz. La presencia de turbidez y sedimento señala que la resiembra ha sido positiva. Si esto no sucediera, debe repetirse la operación. En ocasiones es conveniente aguardar otras 24 horas antes de eliminar el cultivo.

Los discos de antibióticos para ensayos de sensibilidad pueden obtenerse a través del distribuidor local de marcas como BBL, Difco, Merck, Oxoid y Pasteur. Cada fabricante especifica la concentración por disco. Algunos suministran los antibióticos a tres concentraciones distintas, baja, media y alta. Entre los antibióticos disponibles se encuentran tetraciclinas, bacitracina, cloranfenicol, estreptomicinas, eritromicina, neomicina, penicilinas, polimixina B y viomicina.

El ensayo de bacteriostasis consiste en la colocación de los discos de distintas concentraciones sobre placas que contienen medio sólido inoculado con la bacteria elegida. Un halo de inhibición del crecimiento de la bacteria alrededor del disco del antibiótico indica una sensibilidad positiva. Si se utiliza el sistema de tres concentraciones, la sensibilidad de un organismo frente a un antibiótico puede evaluarse de acuerdo a la tabla expuesta a continuación:

SENSIBILIDAD	CONCENTRACION		
	BAJA	MEDIA	ALTA
MUY SENSIBLE	HALO	HALO	HALO
SENSIBLE	SIN HALO	HALO	HALO
LIGERAMENTE SENSIBLE	SIN HALO	SIN HALO	HALO
RESISTENTE	SIN HALO	SIN HALO	SIN HALO

Véase la sensibilidad de un organismo a tres concentraciones distintas del mismo antibiótico



Esquema mostrando el manejo correcto del asa de siembras en la experiencia de bacteriostasis

La experiencia se inicia colocando el siguiente material en la vitrina de siembras: 1) un litro de agua corriente estéril, 2) dos paquetes de placas de Petri estériles, 3) una docena de pipetas de 1 ml estériles y la perilla de goma, 4) un baño de agua a 45° C en el cual se han colocado seis matraces Erlenmeyer con el medio de agar previamente fundido, 5) una gradilla con seis tubos, 6) un rotulador y 7) un recipiente con solución de Lysol o Armil para colocar las pipetas utilizadas.

El material de vidrio estéril se desempaqueta y se procede a la preparación del banco de diluciones. Para ello y con la ayuda de la perilla de goma se distribuyen 9 ml de agua estéril a cada uno de los seis tubos de ensayo necesarios para esta experiencia. Con la ayuda de la perilla se toma a continuación 1 ml del tubo que contiene el cultivo bacteriano y se transfiere al primero de los seis tubos. La pipeta empleada se sumerge en la solución germicida. El tubo se marca con la dilución 1/10 y se agita durante 30 segundos. Con una nueva pipeta estéril se toma 1 ml de dilución 1/10 y se transfiere al tubo que contiene 9 ml de agua corriente estéril, que se rotula con la marca 1/100. Esta operación se repite hasta alcanzar la dilución 1/1.000.000. En cada dilución se desecha la pipeta usada.

Una muestra del medio fundido y mantenido a 45° C de cada uno de los seis matraces se vierte por duplicado en placas de Petri. Estas muestras servirán como controles del medio contenido en los mismos. Posteriormente cada matraz se rotula con una de las seis diluciones indicadas en los tubos. Cada uno de ellos recibe como inóculo 1 ml de la dilución correspondiente. Se agitan por rotación suave, a efectos de homogeneizar el inóculo sembrado. El banco de diluciones contenido en los tubos se puede desechar.

Al terminar esta operación, se introducen en la vitrina de siembras doce placas de Petri estériles, unas pinzas y los viales que contienen los discos de antibióticos. Parte del contenido de cada matraz se utiliza para llenar dos placas de Petri, a razón de unos 20 ml por placa. Cada par de placas se rotula con la dilución que corresponde a cada matraz. Los discos de antibióticos se colocan a los 20 minutos del llenado de las placas sobre el medio ya solidificado, con la ayuda de las pinzas convenientemente flameadas. Los discos de baja concentración pueden colocarse en una placa, empleando la restante para los discos de concentración elevada. Si se emplean discos con tres concentraciones, se añadirán las placas necesarias. Entre los discos debe

mantenerse una distancia del orden de 4 cm. Un sistema que facilita la colocación de los discos puede consistir en el trazado con el rotulador de un radio sobre la base de la placa. El disco de tetraciclina se coloca sobre esta línea y los restantes por orden alfabético en el sentido de las agujas del reloj. Se cubren las placas y se incuban durante dos días a 27° C.

Las placas pueden incubarse utilizando como estufa la misma cabina de siembras, introduciendo una bombilla de 100 watios. El encendido de la misma se puede controlar con un termostato semejante a los empleados en acuarios para peces tropicales.

La actividad de los respectivos antibióticos podrá evaluarse por la observación del desarrollo bacteriano en las placas y la presencia de halos de inhibición de crecimiento alrededor de algunos discos. Los resultados pueden tabularse con un signo menos para indicar resistencia de la bacteria al antibiótico y con un signo positivo para señalar sensibilidad. Cualquier desarrollo microbiano en las placas utilizadas como control, indicaría una contaminación que invalidaría la experiencia. Al concluir las lecturas, las placas pueden esterilizarse por inmersión en un recipiente que contenga una solución de hipoclorito.

Tabulación del efecto de los antibióticos

Una interesante modificación del ensayo descrito permite al experimentador tabular el efecto de los antibióticos respecto al tiempo. Con ella se puede estudiar el intervalo existente entre la inoculación y la acción del antibiótico, verificando en algunos casos la pérdida de su efectividad. Para ello se requiere la construcción de un fotómetro relativamente sencillo, capaz de leer la transmisión relativa de luz a través de un tubo de ensayo. El crecimiento de las bacterias en medio líquido incrementa la turbidez y disminuye su transparencia. Por tanto, al medir la turbidez de un tubo con bacterias en crecimiento a través del fotómetro, medimos en cierto modo la población bacteriana. Básicamente, el fotómetro consiste en una lámpara emisora de luz, una lente que enfoca los rayos por un lado del tubo de ensayo, una fotocélula que recibe los rayos de luz transmitida por el otro lado del tubo y un microamperímetro para medir la intensidad de la corriente generada por la fotocélula. El diseño del aparato se indica en la figura de la derecha.

En este caso, las operaciones se llevan a cabo en tubos de medio líquido en lugar de agar. En condiciones de asepsia, se disuelve una gragea de antibiótico en 10 ml de agua corriente estéril. Las diluciones de esta solución se preparan como antes, es decir, seis diluciones que estén comprendidas entre 1/10 y 1/1.000.000. Es interesante señalar que en este caso se diluye el antibiótico en lugar del cultivo bacteriano. Se toma 1 ml de cada nivel de dilución y se lleva al respectivo tubo de ensayo que contiene 4 ml de caldo.

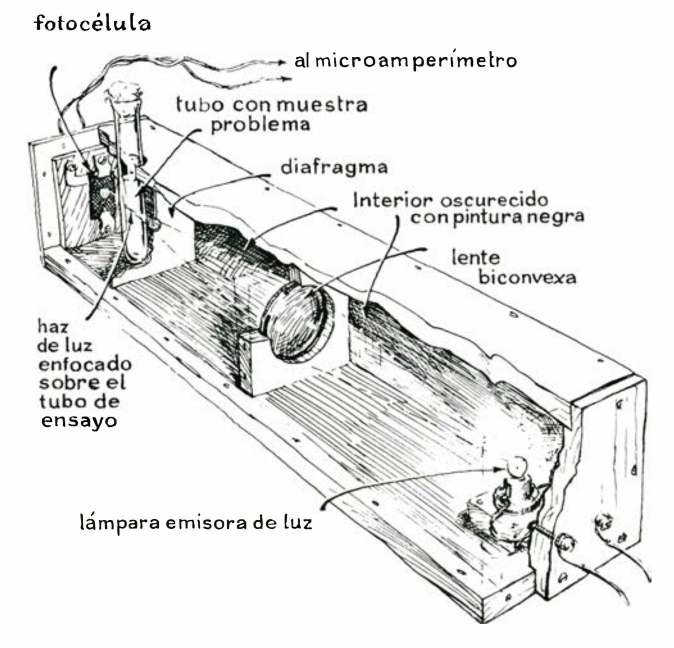
Los tubos que contienen la solución de caldo-antibiótico se inoculan con una gota de un cultivo bacteriano incubado con antelación durante 48 horas. Para esta operación se necesita una pipeta estéril graduada de 1 ml. Los tubos inoculados se incuban a 27° C. A intervalos iguales durante el período de incubación, por ejemplo, cada tres horas, los tubos se agitan cuidadosamente para homogeneizar su turbidez. Esta se mide con el fotómetro y puede representarse gráficamente en función del tiempo. Es conveniente comprobar antes de la experiencia la uniformidad en la transmisión de luz de caldo contenido en cada tubo. Los instrumentos ópticos utilizados por profesionales en esta clase de experiencias se ajustan a la ley de Beer, que establece la proporcionalidad entre la luz absorbida para una sustancia determinada en un solvente dado y la trayectoria óptica recorrida por la luz a través de la solución.

Los ensayos verificados por el método turbidimétrico tienen un gran valor práctico porque demuestran qué antibiótico puede emplearse con mayor efectividad respecto a bacterias de comportamiento desconocido.

Aislamiento de nuevas cepas bacterianas

Durante el curso de las experiencias verificadas con el método de la placa, puede observarse ocasionalmente alguna colonia bacteriana aislada en el halo de inhibición. Probablemente se trata de una bacteria contaminante. Existe, sin embargo, la posibilidad de que sea una cepa mutante de la ordinariamente empleada, puesta en evidencia por el efecto del antibiótico sobre el resto de la población. Se han desarrollado métodos que determinan si la bacteria aislada es una contaminante del medio o una mutante del cultivo original.

Es un hecho conocido que las radiaciones de longitud de onda corta aumentan la velocidad de mutación de los microorganismos. Es posible obtener cepas bacterianas con nuevas características por exposición breve de sus cultivos a radiaciones ultravioleta. Sin embargo, estas experiencias deben realizarse únicamente por microbiólogos profesionales.



Fotómetro adecuado para medir la densidad de un cultivo bacteriano en los referidos experimentos

Libros

Inflación, devaluación y paro ante el modelo macroeconómico de Keynes

Constantino Lluch

LA CRISIS DE LA ECONOMÍA KEYNESIANA, de J. Hicks, Editorial Labor, S.A., Barcelona, 1976. Inflación, devaluación y paro –todos al mismo tiempo– han sido experiencias corrientes en muchas economías desde la Segunda Guerra Mundial, pero sólo en los años setenta se han observado en considerable proporción en las economías más avanzadas. Una vez ahí, los economistas anglosajones no han podido simplemente atribuirlos a irresponsabilidad fiscal. Han tenido que examinar de nuevo los fundamentos de la teoría macroeconómica y, en particular, la versión más extendida del keynesianismo. En ella, la "ocupación total" de los recursos productivos está entre el paro, de una parte, y la inflación de otra; tal vez con una zona de casi ocupación total en donde hay algo de inflación y algo de paro en proporciones discretas y explicables porque la escasez laboral no aparece simultáneamente en todas las ocupaciones.

La versión popular de lo que dijo Keynes se debe a Hicks y, por lo tanto, debemos felicitarnos de que sea Hicks quien vuelva a los orígenes, a poner la teoría en su sitio: ser una estructura lógica útil para entender qué está pasando hoy en muchos países. Esto es lo que hace en el texto del libro. Los apéndices son de interés, pero no centrales respecto al replanteamiento de la teoría keynesiana. Hicks habla de una crisis *en* (dentro de) la teoría, y no del keynesianismo en su conjunto. El título en español, con *de* y no en (a diferencia del original inglés) puede confundir al lector respecto a la intención de Hicks. Y también puede hacerlo el resumen de la cubierta.

I. *Keynes visto por Hicks en 1945*

Según Keynes interpretado por Hicks en 1945, con interpretación aceptada por el mismo Keynes, una economía capitalista es una máquina de funcionamiento relativamente simple. Gracias a los milagros de la agregación, produce sólo una Cosa (Producto Nacional Bruto), que en parte se consume y en parte se acumula, añadiéndose al Stock de Capital. Tal acumulación (Inversión) es pequeña en relación al capital total y el período de tiempo en que interesa el funcionamiento de la máquina es corto. De ahí que el Stock de Capital se considere fijo. La máquina, vista en aislamiento respecto a otras similares (es decir, ignorando el comercio internacional) debe servir para que sepamos: 1) cuánta Cosa se produce; 2) cuánto vale la Cosa en dinero –cuál es el Nivel de Precios; 3) cuál es la Tasa de Interés; 4) cuánta Mano de Obra se utiliza en la producción.

Tres mecanismos dan la respuesta. El primero es el mercado de bienes y servicios por unidad de tiempo, de flujos de Cosa. En él se determina, para cada Tasa de Interés, la cantidad de Cosa tal que los planes sobre consumo e inversión son consistentes: la demanda total es igual a la oferta total. Este mecanismo tiene como componentes fundamentales las funciones de consumo e inversión: cuánto se consume a cada cantidad de Cosa; y cuánto se invierte a cada Tasa de Interés. Si todo funciona bien, a menor Tasa de Interés más Cosa se puede producir con igualdad de oferta y demanda totales.

El segundo mecanismo es el mercado de *stocks,* en que se determina qué proporción de la riqueza se tiene en forma de Dinero "real" (poder de compra sobre la Cosa) y qué proporción en Deuda Pública a largo plazo. Para cada precio y cantidad de Cosa, hay una Tasa de Interés tal que la cantidad de Dinero real y Deuda Pública en existencia coinciden con lo que los propietarios de riqueza en la economía quieren tener. Este mecanismo tiene como componente fundamental la función de "preferencia por la liquidez": cuánto Dinero real se quiere tener para cada Tasa de Interés y cada cantidad de Cosa. El Stock de Capital no tiene influencia alguna sobre este mercado y la Tasa de Interés es el porcentaje de rendimiento nominal de los títulos de Deuda. Si todo funciona bien, a menor Tasa de Interés, menos cantidad de Cosa es consistente con equilibrio en stocks, para una cantidad de Dinero y un Nivel de Precios dados.

El tercer mecanismo es la función de empleo: cuánta Mano de Obra se demanda para producir una cantidad dada de Cosa. Hay un máximo posible de Mano de Obra a utilizar, que define la Ocupación Total.

Si los tres mecanismos funcionan, las cuatro preguntas se contestan de una sola manera y el sistema tiene un equilibrio con ocupación total. Bajo ciertas condiciones la economía tiene un equilibrio con paro o con inflación, pero no ambos. Dichas condiciones surgen cuando los salarios son fijos y la inversión no varía al cambiar la Tasa de Interés; o cuando hay un nivel mínimo de la Tasa tal que los propietarios de riqueza quieren tener toda riqueza adicional en forma de Dinero. Algunas veces, puede ocurrir que la máquina no tenga equilibrio de ningún tipo; lo cual ha originado muchas modificaciones postkeynesianas para arreglarla.

El esquema anterior es, naturalmente, una caricatura. La palabra "Cosa" se ha utilizado con profusión para poner énfasis en el nivel de agregación sobre bienes y servicios, y la caricatura se ha salpicado con mayúsculas para recalcar los pocos conceptos realmente básicos. Pero aun siendo una caricatura, el esquema es válido como resumen de lo que se encuentra en textos de macroeconomía de los años 50 y 60. El resumen ignora las controversias de los economistas sobre cómo especificar las relaciones básicas de la máquina, sobre qué es o no esencial para entender el funcionamiento de una economía capitalista. Este no es el lugar de analizar controversias. Lo que importa es resaltar problemas no tratados que han obligado a Hicks a volver de nuevo a los fundamentos de la macroeconomía.

Algunos de ellos se refieren al papel del comercio internacional. Para que haya intercambio de Cosas, tiene que haber por lo menos dos. Si hay sólo una, en una economía relacionada con otras, hay que hablar de su cambio por Dinero Extranjero. Esto complica la función de preferencia por la liquidez, y le hace a uno ir a la teoría monetaria del comercio

internacional, buscando claridad sobre la relación entre alzas de precios y devaluaciones.

Pero, como se dijo más arriba, es la coexistencia de inflación y paro lo que más ha preocupado recientemente. Para muchos, el fenómeno indica que la economía no está en equilibrio, y que una máquina simple como la resumida antes debe substituirse por otras donde se estudie explícitamente el desequilibrio económico. Este no es el punto de vista de Hicks. Una idea central de Keynes es que las economías capitalistas pueden tener un equilibrio sin ocupación total de recursos, sin que haya fuerzas automáticas que lleven a ella. Hicks quiere mantener esta idea central, y hablar de equilibrio como punto de referencia. Quiere reformular la teoría de Keynes de forma que pueda existir equilibrio sin ocupación total y con inflación –subidas constantes en el nivel de precios.

II. *Keynes visto por Hicks en 1974*

Para conseguirlo, Hicks tiene que diseñar otra máquina. El diseño no tiene una forma tan precisa (y por lo tanto formalizable) como el anterior. Se refiere a una máquina más compleja, con más mecanismos para incorporar la experiencia acumulada de quienes Hicks llama "wiser economic commentators", los comentaristas de sucesos económicos que han aprendido con los hechos además de con la literatura profesional.

La primera idea básica en el nuevo diseño es la desaparición del mercado de flujos: todo son stocks, y el equilibrio relevante es equilibrio en stocks. La segunda idea es que no hay sólo una Cosa. Se distingue entre aquellas cosas cuyo precio se determina por la oferta y la demanda (mercados *flexprice*) de otras cuyo precio se determina por los productores (mercados *fixprice*). En los primeros, existe equilibrio cuando los precios son tales que el nivel de stocks en existencia es el deseado por los profesionales de ese mercado: el conjunto de intermediarios que a veces compran, a veces venden el stock. Ese nivel deseado depende de expectativas sobre precios futuros, de un lado, y de lo que se considere "normal", de otro, para el funcionamiento de las empresas. Las transacciones observadas en mercados flexprice, en equilibrio, son el reflejo de un equilibrio más básico de stocks en existencia. En los mercados fixprice, los precios se determinan por los productores. Si lo fijan demasiado alto, acumulan stocks (y al revés). No hay análisis económico sobre formación de precios en estos mercados, aunque puedan depender, en parte, de precios en mercados flexprice.

Como consecuencia de la importancia de los stocks, se complica el análisis keynesiano del multiplicador: cuánto cambia la cantidad producida de Cosa (o la renta) si hay un cambio en los gastos de inversión, con igualdad de demanda y oferta totales. No existe una fórmula sencilla relacionando renta e inversión mediante la Propensión Marginal a Consumir, sino una variedad de situaciones según sea el nivel de inventarios, la naturaleza del mercado en cuestión y mercados afines, el nivel deseado de inventarios, etc. El efecto expansionista del gasto depende crucialmente de la situación de stocks, una consideración obvia y que da a la Teoría General de Keynes un carácter menos general y más histórico. Asimismo, depende crucialmente de si la economía está abierta o cerrada al comercio internacional desde el punto de vista del gasto en cuestión. En una economía abierta con tasa de cambio fija, las reservas internacionales son el stock básico, el mercado de reservas es fixprice, y las reservas relevantes se miden por el acceso de la economía al mercado internacional de capitales, y no simplemente por las divisas en poder de las autoridades monetarias.

La tercera idea del nuevo diseño se refiere al tratamiento conjunto de la Inversión (y el concepto de la eficiencia marginal del capital) y el Dinero, mediante la reconsideración del concepto de interés. La Tasa de Interés era una noción simple y fácilmente medible en el diseño anterior: el precio que debe pagar un prestamista de crédito impecable para obtener fondos a largo plazo. Tal prestamista era el sector público, y la Tasa, el tipo de interés sobre la Deuda Pública a largo plazo. No obstante, la mayor parte de los sectores públicos en el mundo no son prestamistas de crédito impecable, ya que la inflación reduce el valor real de sus pagos por intereses y principal. Y la mayor parte de los propietarios de riqueza en el mundo tienen una elección más amplia que la dicotomía Dinero Real/Deuda Pública, a la hora de determinar la composición de sus activos. Hicks aborda esta elección más amplia en términos de concepto de liquidez y de la redefinición de la Tasa de Interés como un índice general del precio del crédito. La distinción fundamental es entre sectores *auto-* y over-*draft,* una extraña terminología que sirve para clasificar empresas (incluso financieras) según que mantengan su liquidez con activos reales o financieros o sólo con capacidad de endeudamiento. Mantener liquidez es importante porque permite retrasar decisiones, acumulando entretanto información adicional sobre distintas alternativas, y porque protege contra sucesos imprevistos. "Liquidez", pues, se refiere a secuencias de decisiones interdependientes, y se asocia con flexibilidad en el futuro. Desde el punto de vista de la inversión, es importante tener liquidez, aunque el acto de invertir la elimine. La razón es que la productividad social del gasto en bienes de inversión no es la misma para todos los gastos (hacer pirámides no es lo mismo que convertir secano en regadío), y la liquidez permite pensar en qué invertir.

La relación entre dinero e inversión difiere según que se esté hablando de economías auto- u over-draft. En las primeras (las economías sin mercados de crédito) la política monetaria funciona como en el diseño simple, pero dando a la tasa de interés su sentido amplio. Un aumento en la cantidad de dinero puede estimular la inversión, bien porque tiende a bajar la tasa de interés o porque la correspondiente tendencia al alza del precio de otros activos financieros mejora la posición de liquidez de las empresas. Es esta mejora de liquidez lo que es importante. En una economía con sectores over-draft (es decir, basada sobre todo en el crédito), el control de la liquidez de las empresas por parte del sistema bancario es mucho más fuerte y, por lo tanto, también lo es la dependencia de la inversión con respecto a la política monetaria.

La cuarta idea básica del nuevo diseño se refiere a la naturaleza y funcionamiento del mercado de trabajo. Los servicios laborales no son un stock, y, por tanto, no se puede decir que el mercado de trabajo sea fixprice. Sin embargo, para que la relación laboral sea duradera es necesario que ambas partes se sientan tratadas con justicia. Qué es un salario justo nadie lo sabe pero, sin duda, la sanción de la costumbre es de importancia para sentirse tratado con justicia. Si una estructura de salarios se ha mantenido estable por algún tiempo sin presión exterior, se puede presumir que tal estructura se considera adecuada por los trabajadores. El mantenimiento de estabilidad se hace imposible en condiciones inflacionarias, y esta falta de estabilidad es el coste social más elevado asociado con

la inflación. Trabajadores en distintas ocupaciones reclaman alzas porque otros ya las han conseguido, independientemente de que haya o no paro o escasez laboral. Las alzas de salarios se pueden traducir en alzas de precios en mercados flexprice y ser consistentes con equilibrio en dichos mercados –dependiendo de las expectativas sobre precios futuros. Tal equilibrio puede darse en una situación de paro. Y si se trata de una economía abierta al comercio internacional con un bajo nivel de reservas, una devaluación hace que los mercados de bienes de importación se comporten como mercados flexprice, con lo que la inflación tiende a acentuarse con la baja del tipo de cambio. Así pueden darse paro, inflación y devaluación, en equilibrio.

Para que se produzca tal equilibrio inflacionario, las variables "reales" de la economía (los precios relativos y las cantidades de bienes y servicios) han de mantenerse estables. La tasa de interés no es una de ellas: el precio del crédito debe ajustarse por la baja del valor del dinero asociada con la inflación, y esto hace que equilibrio con inflación requiera tasas de interés relativamente altas.

Si el ajuste se hiciera rápidamente, la inflación no tendría apenas costo social. Pero siempre hay quien pierde en términos relativos. Hay muchos mercados que son fixprice y donde no hay suficiente rapidez de adaptación. En esos casos, fijar precios lleva tiempo y energía, y siempre hay quien pierde: o trabajadores, o empresarios, o jubilados, etc. El coste social de la inflación, según Hicks, se debe sobre todo a que considerables recursos se retiran de actividades productivas y de inversión, y se dedican a la formación continua de la estructura de precios. Los precios no son solamente señales para la asignación óptima de recursos. Tienen también un papel social como determinante de costumbre que es de importancia mantener.

III. *¿Donde está Keynes?*

Todo esto suena muy evasivo, sobre todo en contraste con la seguridad sobre recomendaciones políticas en Keynes. No se sale con ideas claras del libro de Hicks, y menos aun con relaciones medibles. La sencillez y fuerza del diseño anterior se ha sustituido por conceptos como "nivel deseado de inventarios", "expectativas", "liquidez", "papel social de los precios" que, como poco, son difíciles de medir. ¿Queda algo de los economistas puedan decir con seguridad? Quizá sí, pero con gran cuidado y en cada situación concreta. Hicks enseña modestia y a manejar estructuras lógicas que varían según las circunstancias. Y esto lo hace dentro de la herencia intelectual de Keynes.

AVANCES DEL SABER. Varios. Editorial Labor, S.A. Barcelona. El auge de la especialización arremetió con fuerza contra el enciclopedismo. Hoy se tiene a gala no saber de aquello que no le concierne a uno por formación hiperespecializada. Parece como si así resaltara más la hondura con que se domina la propia área de conocimientos. No fue, sin embargo, ésa la postura de los grandes científicos de antaño, ni es la de los grandes actuales. El mismo destino convergente del espectro de las distintas disciplinas ayuda a decantarse más bien por un talante inquisitivo y curioso de qué se está realizando en otras secciones del saber, en apariencia, muy distantes de las nuestras.

A pesar del avance espectacular y en todos los frentes de la ciencia, no se puede albergar un criterio de inhibición y encastillamiento en la propia disciplina. No ya porque las otras nos pueden ofrecer modelos explicatorios, soluciones a aporías semejantes a las nuestras, nuevas perspectivas y nueva luz a viejas cuestiones, sino también porque conducen a una estricta concatenación y jerarquía de principios y teorías. El científico naturalista que estudia los reflejos de respuesta de una especie animal ante un determinado estímulo no puede ceñirse a la pura descripción de la curva de tensión y distensión, sino que debe conocer en profundidad los mecanismos neurohormonales que comporta esa curva y, en última instancia, el gasto energético invertido. Para saber de este último, tendrá que conocer las ecuaciones termodinámicas que gobiernan las relaciones energéticas. Ecuaciones termodinámicas que le han de llevar a llamar a la puerta de la física y de la química. Al tiempo que estudia el carácter neurohormonal del mecanismo de respuesta, el mismo científico naturalista tendrá que apelar a otros sistemas articulados de conocimientos: la anatomía y la endocrinología. Además, según la naturaleza del estímulo, sería conveniente tener a mano otras fuentes del saber. No existe ciencia estanca. Pero tampoco es humanamente factible dominarlas todas con la destreza con que se domina el propio campo. Sin embargo, es de todo punto necesario hacerse con el armazón de las distintas ramas del saber y la técnica. Y eso es lo que ha querido presentar la Editorial Labor con *Avances del saber*.

La enciclopedia consta de cuatro volúmenes. Giuseppe Arcidiacono, continuador de la obra cosmológica de Fantappié, que ha divulgado ampliamente en España e Hispanoamérica, abre el primer volumen con un extenso estudio sobre las nuevas teorías cosmológicas, algunos de cuyos últimos adelantos se le ofrecen al lector en estas mismas páginas. Con los temas cosmológicos forman un haz los capítulos dedicados a las partículas elementales, la radiactividad y las reacciones nucleares, la tecnología nuclear, al plasma o cuarto estado de la materia, y a las microondas. Puntos autónomos muy importantes son los consagrados a la astronáutica, a la meteorología, al mundo submarino y a la química hoy. Los avances de la matemática agrupan problemas teóricos fundamentales como la teoría de conjuntos y las estructuras topológicas y problemas de orden práctico como las nuevas técnicas de cálculo o, mixtos, como la teoría de la información y la cibernética. Como complemento cabe citar el capítulo de microelectrónica, del profesor Serra.

Dado el incremento que han conocido las ciencias de la vida en nuestro tiempo, es lógico que se lleven la parte del león en punto a desarrollos y perspectivas. Todo el tomo tercero está entregado a esa área del saber, amén de algunos capítulos aislados que se encuentran en los otros tomos. La vida se entiende en el marco de la evolución del universo y el origen de los continentes. Se expone su arquitectura físico-química (Subirana), su diferenciación evolutiva, la genética humana. El hombre es asumido en una perspectiva global: programación del mismo (Aranguren), parapsicología, psicología (Pinillos), la ecología y los límites del crecimiento y los recursos energéticos, así como otros temas de interés.

Los tomos segundo y cuarto describen la problemática social del hombre de hoy y sus creaciones, a modo de respuesta. Desde los cambios políticos hasta las manifestaciones deportivas, pasando por la presencia y/o ausencia de pensamiento filosófico, la música, el cine, el turismo, la comunicación de masas, etc.

La profusa ilustración que acompaña al texto facilita la mejor comprensión de éste, siendo algunos diagramas y fotografías de auténtico valor original.

Bibliografía

Los lectores interesados en una mayor profundización de los temas expuestos pueden consultar los trabajos siguientes:

ALIMENTACION Y AGRICULTURA

TRANSFORMING TRADITIONAL AGRICULTURE. Theodore W. Schultz. Yale University Press, 1964.

THE WORLD FOOD PROBLEM: A REPORT OF THE PRESIDENT'S SCIENCE ADVISORY COMMITTEE; mayo, 1967.

OVERCOMING WORLD HUNGER. Dirigido por Clifford M. Hardin. Prentice-Hall, Inc., 1969.

SUBSISTENCE AGRICULTURE AND ECONOMIC DEVELOPMENT. Dirigido por Clifton R. Wharton, Jr. Aldine Publishing Company, 1969.

BY BREAD ALONE. Lester R. Brown con Erik P. Eckholm. Praeger Publishers, 1974.

A RICHER HARVEST: NEW HORIZONS FOR DEVELOPING COUNTRIES. Sudhir Sen. Orbis Books, 1974.

MEETING FOOD NEEDS IN THE DEVELOPING WORLD: THE LOCATION AND MAGNITUDE OF THE TASK IN THE NEXT DECADE. International Food Policy Research Institute; febrero, 1976.

LAS DIMENSIONES DEL HAMBRE HUMANA

FOOD AND POPULATION: THE WRONG PROBLEM? Jean Mayer en *Daedalus*, vol. 3, n.º 3, págs. 830-8; verano, 1964.

THE NUTRITION FACTOR: ITS ROLE IN DEVELOPMENT. Alan Berg. Brookings Institution, 1973.

NUTRITION, *Science*, vol. 188, n.º 4188, págs. 557-577; mayo 9, 1975.

THE WORLD FOOD PROSPECT. Lester R. Brown en *Science*, vol. 190, n.º 4219, págs. 1053-1059; dic. 12, 1975.

LAS NECESIDADES DE LA NUTRICION HUMANA

RECOMMENDED DIETARY ALLOWANCES. Food and Nutrition Board. National Research Council. National Academy of Sciences, 1974.

DIETARY STANDARDS. D. Mark Hegsted en *Journal of the American Dietetic Association;* vol. 66, n.º 1, págs. 13-21; enero, 1976.

SHATTUCK LECTURE–STRENGTHS AND WEAKNESSES OF THE COMMITTEE APPROACH: AN ANALYSIS OF PAST AND PRESENT RECOMMENDED DIETARY ALLOWANCES FOR PROTEIN IN HEALTH AND DISEASE. Nevin S. Scrimshaw en *The New England Journal of Medicine*, vol. 294, n.º 3, págs. 136-142; enero 15, 1976; n.º 4, págs. 198-203; enero 22, 1976.

LOS CICLOS DE LA NUTRICION VEGETAL Y ANIMAL

THE NATURE AND PROPERTIES OF SOILS. Harry O. Buckman y Nyle C. Brady. The Macmillan Company, 1960.

ENERGY EXCHANGE IN THE BIOSPHERE. David M. Gates. Harper & Row, Publishers, 1962.

ANIMAL NUTRITION. Leonard A. Maynard y John K. Loosli. McGraw-Hill Book Company, Inc., 1969.

NUTRIENT REQUIREMENTS OF DOMESTIC ANIMALS: NUTRIENT REQUIREMENTS OF BEEF CATTLE (1970), DAIRY CATTLE (1971), POULTRY (1971), SWINE (1973), SHEEP (1975). National Academy of Sciences.

AGRICULTURAL PRODUCTION AND ENERGY RESOURCES. G. H. Heichel en *American Scientist*, vol. 64, n.º 1, págs. 64-72; enero-febrero, 1976.

LOS PLANTAS Y LOS ANIMALES QUE ALIMENTAN AL HOMBRE

THE DOMESTICATION AND EXPLOITATION OF PLANTS AND ANIMALS. Dirigido por P. J. Ucko y D. W. Dimbleby. Aldine Publishing Company, 1969.

PALAEOETHNOBOTANY: THE PREHISTORIC FOOD PLANTS OF THE NEAR EAST AND EUROPE. Jane M. Renfrew. Columbia University Press, 1973.

SISTEMAS DE AGRICULTURA

FARMING SYSTEMS OF THE WORLD. A. N. Duckham y G. B. Masefield. Chatto & Windus, 1971.

THE AGRICULTURAL SYSTEMS OF THE WORLD: AN EVOLUTIONARY APPROACH. D. B. Grigg. Cambridge University Press, 1974.

ANIMAL AGRICULTURE: THE BIOLOGY OF DOMESTIC ANIMALS AND THEIR USE BY MAN. Editado por H. H. Cole y Magnar Ronning. W. H. Freeman and Company, 1974.

LA AGRICULTURA DE ESTADOS UNIDOS

AGRICULTURAL POLICY UNDER ECONOMIC DEVELOPMENT. Earl O. Heady. Iowa State University Press, 1962.

A PRIMER ON FOOD, AGRICULTURE, AND PUBLIC POLICY. Earl O. Heady. Random House, 1967.

FOUNDATIONS OF FARM POLICY. Luther Tweeten. University of Nebraska Press, 1970.

LA AGRICULTURA DE MEXICO

ROCKEFELLER FOUNDATION COLLABORATION IN AGRICULTURAL RESEARCH IN MEXICO. E. J. Wellhausen en *Agronomy Journal*, vol. 42, n.º 4, págs. 167-175; abril, 1950.

STRATEGIES FOR INCREASING AGRICULTURAL PRODUCTION ON SMALL HOLDINGS. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 1970.

SEVEN YEARS OF EXPERIENCE: 1967-1973. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 1974.

LA AGRICULTURA DE LA INDIA

THE WONDER THAT WAS INDIA. A. L. Basham. Sidgwick and Jackson, 1954.

AGRICULTURAL TRENDS IN INDIA, 1891-1947: OUTPUT, WELFARE, AND PRODUCTIVITY. George Blyn. University of Pennsylvania Press, 1961.

THE ECONOMICS OF AGRICULTURAL DEVELOPMENT. John W. Mellor. Cornell University Press, 1966.

DEVELOPING RURAL INDIA: PLAN AND PRACTICE. Dirigido por John W. Mellor, Thomas F. Weaver, Uma J. Lele y Sheldon R. Simon. Cornell University Press, 1968.

FOOD GRAIN MARKETING IN INDIA. Uma J. Lele. Cornell University Press, 1971.

RECURSOS DISPONIBLES PARA LA AGRICULTURA

FOOD FROM THE LAND. Sterling B. Hendricks en *Resources and Man: A Study and Recommendations.* Committee on Resources and Man of the Division of Earth Sciences, National Academy of Sciences-National Research Council. W. H. Freeman and Company, 1969.

FOOD FROM THE SEA. William E. Ricker en *Resources and Man: A Study and Recommendations.* Committee on Resources and Man of the Division of Earth Sciences. National Academy of Sciences-National Research Council. W. H. Freeman and Company, 1969.

ENERGY USE IN THE U.S. FOOD SYSTEM. John S. Steinhart y Carol E. Steinhart en *Science,* vol. 184, n.º 4134, págs. 307-316; abril 19, 1974.

ENERGY AND LAND CONSTRAINTS IN FOOD PROTEIN PRODUCTION. David Pimentel, William Dritschilo, John Krummel y John Kutzman en *Science,* vol. 142, n.º 4216, págs. 754-761; noviembre 21, 1975.

WILL THE EARTH'S LAND AND WATER RESOURCES BE SUFFICIENT FOR FUTURE POPULATIONS? Roger Revelle en *Report of the Symposium on Population, Resources and the Environment (Stockholm 26 September-5 October, 1973).* Naciones Unidas, 1973.

COMO AUMENTAR LA PRODUCCION AGRICOLA

RICE BREEDING AND WORLD FOOD PRODUCTION. Peter R. Jennings en *Science,* vol. 186, n.º 4169, págs. 1085-1088; diciembre 20, 1974.

THE WORLD FOOD SITUATION: A NEW INITIATIVE. Sterling Wortman. The Rockefeller Foundation; diciembre, 1975.

STRATEGY FOR THE ALLEVIATION OF WORLD HUNGER. Sterling Wortman. The Rockefeller Foundation, 1976.

THE IMPACT OF HIGH-YIELDING RICE VARIETIES IN LATIN AMERICA WITH SPECIAL EMPHASIS ON COLOMBIA: A PRELIMINARY REPORT. Grant M. Scobie y Rafael Posada. Centro Internacional de Agricultura Tropical; abril, 1976.

FOOD CROPS IN THE LOW-INCOME COUNTRIES: THE STATE OF PRESENT AND EXPECTED AGRICULTURAL RESEARCH AND TECHNOLOGY. Ralph W. Cummings, Jr. The Rockefeller Foundation; mayo, 1976.

LA EVOLUCION DE LA AGRICULTURA EN LOS PAISES EN VIAS DE DESARROLLO

GETTING AGRICULTURE MOVING: ESSENTIALS FOR DEVELOPMENT AND MODERNIZATION. Arthur T. Mosher. Frederick A. Praeger Publishers, 1966.

ASIAN AGRICULTURAL SURVEY. Asian Development Bank. Tokyo University Press. 1969.

QUIMICA Y TECNOLOGIA DEL ARROZ

LE RIZ. A. Angladette, G. P. Maissonneure et Larose, París, Francia, 1966.

RICE, CHEMISTRY AND TECHNOLOGY. D. F. Houston, editor. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul. Minn., U.S.A. 1972.

BASIC AND APPLIED RESEARCH NEED FOR OPTIMIZING RICE BRAN UTILIZATION AS FOOD AND FEED. S. Barber y C. Benedito de Barber. Ponencia presentada a la Conferencia Internacional sobre Subproductos de arroz, Valencia, España, septiembre-octubre de 1974.

RICE REPORT 1975. Dirigido por S. Barber, M. Mitsuda, H. S. R. Desikachar; Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, Valencia, 1976.

JUEGOS MATEMATICOS

THE *G*-VALUES OF VARIOUS GAMES. Richard K. Guy y Cedric A. B. Smith en *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society,* vol. 52, parte 3, págs. 514-526; julio, 1956.

MATHEMATICAL INVESTIGATION OF GAMES OF "TAKE-AWAY." Solomon W. Golomb en *Journal of Combinatorial Theory,* vol. 1, n.º 4, págs. 443-458; diciembre, 1966.